

COMPARAÇÃO DO NDVI OBTIDO POR MEIO DE VANT E SATÉLITE EM MONITORAMENTO DE BARRAGENS DE MINERAÇÃO

Bruno Timóteo Rodrigues ¹, Mikael Timóteo Rodrigues ², Caroline Cristina Engel Gabriel ³, Diego Gmach Leal ⁴

¹Parque Tecnológico Itaipu (PTI-BR), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil; ² Parque Tecnológico Itaipu (PTI-BR), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil e Centro Universitário Dinâmica das Cataratas – UDC, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil; ³Parque Tecnológico Itaipu (PTI-BR), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. e ⁴Parque Tecnológico Itaipu (PTI-BR), Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil

RESUMO

O presente estudo possui como objetivo comparar imagem de satélite com imagens de VANT para averiguar aptidão de imagens com resolução espacial média no monitoramento de barragens de mineração. Este estudo foi realizado na região sudeste do Estado de Goiás em barragem de mineração de fosfato. Foi utilizado o VANT Spectral II equipado com com sensor ótico multiespectral Rededge MX. Para cruzamento e realização da validação, foi utilizada a imagem satelital do sensor Sentinel 2, na região estudada com dois dias posteriores ao levantamento realizado com o VANT, assim, aproximando-se de modo temporal e espectral do ortomosaico. Para validar o processo de verificação do percentual de acurácia da classificação realizada por meio de NDVI, foi utilizado a matriz de confusão para compor a validação final. Por meio da correção atmosférica a acurácia global atingiu a ordem de 0.916, com desempenho global de “Excelente”. A imagem de satélite Sentinel 2 comparada com ortomosaico gerado por meio de levantamento aéreo com VANT para o monitoramento de barragens de mineração se mostrou satisfatório, permitindo a detecção e classificação dos alvos de vegetação.

Palavras-chave — Acurácia global, Ortomosaico, Imagem de Satélite, Resolução Espacial.

ABSTRACT

The present study aims to compare satellite imagery with UAV images to ascertain the suitability of images with medium spatial resolution in monitoring mining dams. This study was carried out in the southeastern region of the State of Goiás in a phosphate mining dam. A Spectral II UAV equipped with a Rededge MX multispectral optical sensor was used. For the crossing and validation, the satellite image of the Sentinel 2 sensor was used, in the studied region two days after the survey carried out with the UAV, thus, approaching in a temporal and spectral way the orthomosaic. To validate the process of verifying the percentage of accuracy of the classification performed through NDVI, the confusion matrix was used to compose the final validation. Through atmospheric correction, the

global accuracy reached the order of 0.916, with an overall performance of “Excellent”. The Sentinel 2 satellite image compared with orthomosaic generated by aerial survey with UAV for monitoring mining dams proved to be satisfactory, allowing the detection and classification of vegetation targets.

Key words — Global Accuracy, Orthomosaic, Satellite Image, Spatial Resolution..

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), o Estado de Goiás foi o terceiro estado brasileiro com maior produção de minerais, com participação na ordem de 4,21% nos valores arrecadados de royalties [1]. Os municípios de Catalão e Ouidor, no Sudeste de Goiás, apresentam um dos maiores depósitos geológicos de origem ígnea de grande importância econômica, numerosos em nióbio e fosfato, onde tal exploração de jazidas segue as demandas e as tendências do mercado mundial de mineração [2].

Contudo, se faz necessário o monitoramento constante das barragens de mineração para prevenir episódios como o rompimento da barragem de rejeitos. E nesse contexto, técnicas de sensoriamento remoto se apresentam muito satisfatórias, uma vez que oferecem possibilidades de identificar as mudanças de uso do solo em uma determinada escala temporal.

O sensoriamento remoto orbital apresenta avanços no conhecimento da análise espacial em todas as áreas de conhecimento, devido a maior capacidade de aquisição de dados em larga escala [3], bem como, a disponibilidade dos respectivos produtos, encontrados em diversas plataformas nacionais e internacionais [4]. Tal cenário permite análises espaço-temporais de alvos compostos por biomassa, bem como das condições hídricas dos vegetais. As imagens de satélite aparecem como importante fonte de dados e informação para estudos de uso e ocupação do solo [5], que permitem estudos de longo prazo no que se refere o maior poder de discriminação das fitofisionomias, possível em função do extenso acervo histórico de cenas (3)

Já uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na a geração de imagens de resolução elevada aparecem como

alternativa às imagens de satélite [6], despertando um interesse crescente no monitoramento no campo das ciências ambientais e engenharias [7].

Tais equipamentos passaram a ser incorporados no monitoramento de áreas devido a sua execução de atividades de avaliação, permitindo uma análise e tomada de decisões mais efetivas, entre essas atividades executadas com o VANT, está o índice de vegetação. Os índices de vegetação têm sido muito empregados no monitoramento de áreas vegetadas, com intuito de estimar o índice da área foliar, biomassa, bem como da radiação fotossinteticamente ativa [8].

Segundo a literatura, o NDVI é amplamente indicado quando se pretende fazer avaliações com uma longa escala temporal de uma mesma área, pois é esperado ser menos influenciado pelas variações das condições atmosféricas, reduzindo ruídos nas imagens atribuídos as radiações difusas, nuvens e suas respectivas sombras, ângulo do sol, topografia da área estudada, atenuação da atmosfera [9], bem como redução erros de calibração.

A utilização de VANTs nesses estudos proporciona maiores resolução espacial e resolução temporal, com GSD na ordem de poucos centímetros, bem como com flexibilidade no intervalo de aquisição de dados, resultando diretamente nos produtos cartográficos gerados por essas plataformas [10].

Desta forma, o presente estudo possui como objetivo avaliar imagens e satélites confrontadas com imagens de VANT no monitoramento de barragens de mineração com diferentes resoluções espaciais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado na região sudeste do Estado de Goiás em barragem de mineração de Nióbio. Foi utilizada imagem de satélite Sentinel 2 com data de março de 2022. As bandas das imagens Sentinel 2 por apresentar boa resolução espacial com relação a escala da área da barragem de mineração estudada. Tais imagens foram corrigidas com o plugin *Semi-Automatic Classification – SCP* no QGIS 3.22, aplicando-se o método de correção atmosférica DOS1 (*Dark Object Subtraction*). Também foi utilizado o VANT Spectral II com RTK/PPK (Figura 1) da fabricante Nuvem UAV, modelo do tipo quadricóptero (quatro hélices), equipado com com sensor ótico multiespectral Rededge MX.

O voo foi realizado com sobreposição de 80% frontal e lateral com altura na ordem de 120 metros. Foi utilizada imagem do satélite Sentinel 2, fazendo-se uso dos espectros do visível e infravermelho, obtidas gratuitamente na plataforma USGS (*United States Geological Survey*). Para cruzamento e realização da validação, foi utilizada imagem de

satélite Sentinel 2 da região estudada com dois dias posteriores ao levantamento realizado com o VANT Spectral II, assim, aproximando-se de modo temporal e espectral do ortomosaico.



Figura 1 – VANT Spectral II

As bandas das imagens Sentinel 2 foram corrigidas com o plugin *Semi-Automatic Classification – SCP* no QGIS 3.22, aplicando-se o método de correção atmosférica DOS1 (*Dark Object Subtraction*), onde é utilizado grupos de pixels escuros das imagens como referência para correção do espalhamento atmosférico, além de estimar a transmitância da atmosfera a partir do cosseno do ângulo zenital [11].

Como melhor range de valores para identificação de tipos de vegetação em áreas de mineração para validação da imagem Sentinel com o ortomosaico gerado pelo VANT, foi utilizado o NDVI (Equação 1). O respectivo índice foi gerado a partir das imagens do VANT Spectral II, bem como das imagens do Sentinel 2, onde tal normalização por meio de NDVI possibilita uma avaliação mais acurada. Por meio das bandas das respectivas imagens Sentinel 2 e do VANT, foram gerados o índice de vegetação NDVI.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

Onde R representa a banda do vermelho e NIR é o Infravermelho próximo.

Para tanto, como método avaliativo, foram geradas amostras (pontos amostrais) com quantidades de pontos amostrais baseado numa proporção de área para o tamanho (m² e/ou ha) das classes avaliadas: água, solo exp., gramínea, veg. arbórea, veg. densa, onde foi escolhido um Erro Padrão superior ao recomendado pela literatura, na ordem de 0,4% ou 0,004, gerando 600 pontos amostrais, ocasionando um maior refinando da acurácia.

Para validar o processo de verificação do percentual de acurácia da classificação realizada por meio de NDVI, e

quais classes são confundidas pelo algoritmo, foi utilizado a matriz de confusão [12] para compor a validação final. Cada ponto criado para validação foi classificado por meio das cinco (5) classes de NDVI da barragem avaliada. Para a avaliação dos índices de acurácia, foi realizado o cruzamento das informações de todas as classes de uso e cobertura classificadas no NDVI e tabulados nas matrizes de confusão. Por meio destas matrizes foi possível efetuar a avaliação de desempenho global por meio do índice Kappa [12] e Exatidão global [13] (Tabela 1).

Tabela 01 – Qualidade da classificação associada ao índice Kappa

Índice Kappa	Concordância
< 0	Sem concordância
0.00 a 0.19	Ruim
0.20 a 0.39	Razoável
0.40 a 0.59	Bom
0.60 a 0.79	Muito bom
0.80 a 1.00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3. RESULTADOS

Com base nos resultados apresentados nas Figuras 2 e 3 pode-se compreender que o índice NDVI se apresentou adequado como variável na validação da imagem do satélite Sentinel 2 com a do VANT Spectral II, onde o padrão dos contrastes água, solo exposto, gramínea, vegetação arbórea, vegetação densa foram devidamente estimadas, mesmo com uma significativa diferença na resolução espacial dos dois sensores.

As diferenças na classificação por meio de NDVI nas duas imagens foram representadas com range de vegetação variando de -0,975 a 0,812, corroborando com Vaz [14], os resultados de classificação utilizando os valores da série temporal de NDVI, produziram melhores resultados do que aquelas que utilizaram apenas os valores da série temporal. A utilização das métricas, associadas as séries temporais de NDVI, proporcionou ganhos consideráveis nas acurácias das classes gramíneas, solo exposto e vegetação arbórea e densa.

Analisando o NDVI obtido pelo sensor Micasensi Rededge MX embarcado no VANT com a imagem do Satélite Sentinel 2, podemos apontar uma similaridade com o estudo de Sampaio [15], onde constataram que a resolução espacial interfere na qualidade das imagens e, conseqüentemente, no índice de vegetação resultante dessas imagens. Observando a área que foi destacada no levantamento do VANT (Figura 3) com a do satélite (Figura 2), observa-se que o NDVI calculado por meio da imagem do Sentinel 2 representa com menor detalhe comportamento dos alvos com radiação fotossinteticamente ativa nas áreas da barragem devido ao tamanho do pixel. O comportamento da classe água, tam-

bém muito relevante na fiscalização e monitoramento de barragens de mineração, foi bem classificada de modo bastante assertivo pelo NDVI gerado na imagem Sentinel 2 em comparação com o ortomosaico gerado pelo VANT.

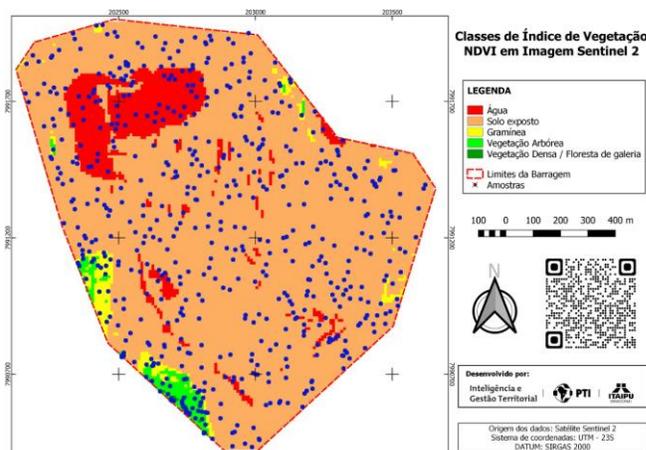


Figura 2 - Classes de NDVI em imagem Sentinel 2 e seus respectivos 600 pontos amostrais representados na cor azul.

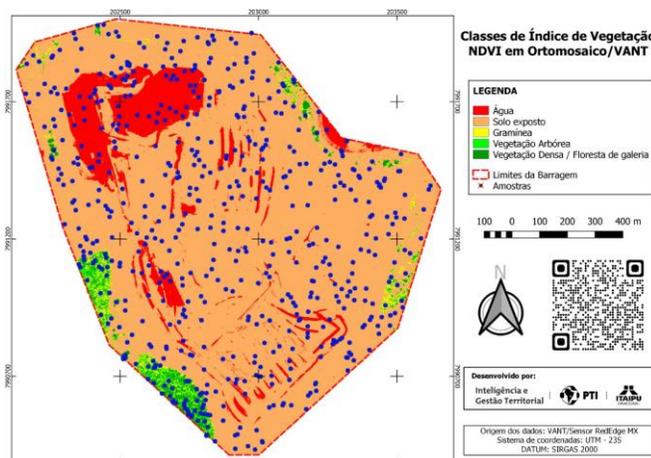


Figura 3 - Classes de NDVI em ortomosaico gerado por VANT.

Assim como já detectado em outros levantamentos por imagem de satélite, a classe de gramínea foi extrapolada, bem como uma menor identificação de vegetação arbórea em relação ao que foi detectado pelo levantamento com o VANT, havendo uma mistura de pixel nas classes de biomassa mais e menos densas. Tal fato se dá em virtude da distância entre linhas dos respectivos usos classificados, influenciando diretamente da máxima semelhança de veracidade utilizada pelo algoritmo, o que complexifica a variabilidade da mistura espectral dos alvos na área da barragem de mineração.

Desta forma, mesmo apresentando uma clara diferença espacial, bem como a complexidade da variabilidade da

mistura de pixel por metro quadrado em relação aos produtos cartográficos gerados pelo VANT, as duas plataformas de sensoriamento remoto aqui utilizadas, por meio da classificação pelo índice de vegetação NDVI para validação, se apresentou com acurácia global na ordem de 0.916 com desempenho global de “Excelente”, segundo Landis e Koch [12]. Deste modo, com essa elevada Exatidão global, as imagens Sentinel 2 apresentam reais condições de serem utilizadas como ferramenta de fiscalização e monitoramento de vegetação em barragens de mineração.

5. CONCLUSÕES

A imagem de satélite Sentinel 2 comparada com ortomosaico gerado por meio de levantamento aéreo com VANT para o monitoramento de barragens de mineração se mostrou satisfatório, permitindo a detecção e classificação dos alvos de vegetação, mesmo havendo uma mistura de pixel nas classes de biomassa e com limitação da resolução espacial.

Para tanto, pode-se afirmar que as imagens de VANT apresentam maior detalhamento dos alvos em torno da barragem de mineração, conseqüentemente, melhores resultados são apresentados com NDVI, uma vez que resolução espacial superior ao Sentinel 2 vai alterar resultados por meio de mistura espectral de alvos. Porém, as duas plataformas de sensoriamento remoto utilizadas apresentaram acurácia global satisfatória, com desempenho global “Excelente”, apontando que imagens de satélite Sentinel 2 podem ser ferramentas confiáveis no monitoramento de barragens de mineração.

6. AGRADECIMENTOS

À Itaipu Binacional, Agência Nacional de Mineração (ANM) e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI), uma vez que os presentes dados foram realizados no âmbito de convênio entre as referidas instituições.

7. REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. Agência Nacional de Mineração (ANM). Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas / Agência Nacional de Mineração; coordenação técnica de Marina Dalla Costa. – Brasília: ANM. (pp30), 2020.
- [2] Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Informe mineral do Centro-Oeste. Brasília: DNPM. (1), 2007.
- [3] H.S. Sampaio, V. Bourscheidt, L.H. Sarracini, L.D.C. Jorge, G.M. Bettioli, A.C.D. Bernardi. Comparação entre Índices de Vegetação obtidos por imagens aéreas com Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) e Satélite. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas. (14), (pp111-124), 2020.

[4] U.J. Silva Junior, R.M. Gonçalves, L.M.M. Oliveira, J.A. Silva Junior. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II-PE, Brasil. Revista Brasileira de Cartografia. (73), (pp17-35), 2021.

[5] P.V.S Brito, T.O. Santos, Y.B.C.B Morais. Análise da sazonalidade da vegetação de caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8-OLI. Revista Brasileira de Sensoriamento Remot. (1), (pp 29 – 37), 2020.

[6] H. Aasen, A. Burkart, A. Bolten, G. Bareth, G. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, (108), (pp245-259), 2015.

[7] M.M.A. Linhares, N.C.C. Rocha, B.A.S. Amaral, B. A. S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. in: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), Foz do Iguaçu. Anais. (16), (pp8254-8260), 2013.

[8] B.T. Rodrigues, M.T. Rodrigues, S. Campos, M. Campos, M.B. Tarumoto. Possibilidades e métodos de utilização no uso de DRO-NES/VANTS na agricultura. In: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista. (pp. 249-269), 2017.

[9] K. Didan, A.B. Munoz, R. Solano, A. Huete. MODIS Vegetation Index User’s Guide (MOD13 Series). The University of Arizona. 2015.

[10] B.T. Rodrigues, D.A. Zema, J. González-Romero, M.T. Rodrigues, S. Campos, P. Galletero. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for estimating soil volumes retained by check dams after wildfires in mediterranean forests Soil Syst, 5(1), (pp9), 2021.

[11] I. Sanches, R.G. Andrade, C.F. Quartaroli, C.A.G. Rodrigues. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba. Anais. (11), (p 7564-7571), 2011.

[12] J.R. Landis, G.G. Koch. The measurement of observer agreement for categorical data. Biométricas, (33), (pp159-174), 1977.

[13] U. Hellden, M. Stern. Evaluation of Landsat Imagery and Digital Data for Monitoring Desertification Indicators in Tunisia. Proc. Int. Symp. on Rem. Sens. of Environ. (14), (pp1601-1611), 1980.

[14] D.V. Vaz. Análise das mudanças da cobertura da terra causadas pelo desastre de mariana-mg utilizando séries temporais de índices de vegetação. PPG Sensoriamento Remoto – INPE, São José dos Campos-SP. (pp118), 2020.

[15] H.S. Sampaio, V. Bourscheidt, L.H. Sarracini, L.A.C. Jorge, G.M. Bettioli, A.C.C. Bernardi. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. (14), (pp111-124), 2020.