

IMAGENS DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO APLICADAS NA OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

FELIPE DE SOUZA NOGUEIRA TAGLIARINI¹, MIKAEL TIMÓTEO RODRIGUES^{2,3}, BRUNO TIMÓTEO RODRIGUES¹; YARA MANFRIN GARCIA¹ E SÉRGIO CAMPOS¹

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, n° 3780, Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: felipe_tagliarini@hotmail.com; brunogta21@hotmail.com; yaramanfrin@hotmail.com; sergio.campos@unesp.br

² Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Rua Castelo Branco, n° 440, Centro, CEP: 85852-010, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. E-mail: mikael.rodrigues@udc.edu.br

³ Parque Tecnológico Itaipu (PTI), Avenida Tancredo Neves, n° 6731, Jardim Itaipu, Caixa Postal: 2039, CEP: 85867-900, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. E-mail: mikael.rodrigues@pti.org.br.

RESUMO: O advento dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como ferramenta no sensoriamento remoto possibilitou uma plataforma atuante em diferentes áreas para o mapeamento com elevada precisão e resolução. O objetivo deste estudo consistiu na análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para elaboração de mapa temático por meio de aerofotogrametria e fotointerpretação, com maior detalhamento da vegetação devido à altíssima resolução espacial alcançada com o uso de imagens coletadas por VANT em trecho do rio Lavapés, dentro dos limites da Fazenda Experimental Lageado no município de Botucatu-SP. As imagens foram obtidas por meio dos sensores MAPIR Survey3W RGB e Survey3W NIR/InfraRED, embarcados em VANT multirrotor 3DR SOLO. Para construção dos ortomosaicos RGB e NDVI, as imagens foram processadas no *software* Pix4Dmapper 3.0. O resultado do NDVI proporcionou transição bem nítidas entre os alvos bióticos (vegetação) e os alvos abióticos (corpo d'água, solo e edificações), e também entre a própria vegetação, possibilitando a distinção da vegetação de porte arbóreo, com maior vigor vegetativo, em relação a vegetação de porte herbáceo. As imagens com elevada resolução espacial coletadas por VANT, demonstraram flexibilidade de utilização, possuindo elevado potencial para o mapeamento de dinâmica da paisagem e a resposta espectral da vegetação.

Palavras-chaves: drone, índice radiométrico, sensoriamento remoto

IMAGES OF UNMANNED AERIAL VEHICLE APPLIED TO OBTAIN THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX

ABSTRACT: The advent of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as a tool in remote sensing has enabled a platform acting in different areas for mapping with high precision and resolution. This study aimed to analyze the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the elaboration of thematic map through aerophotogrammetry and photointerpretation, with greater detail of vegetation due to high spatial resolution achieved with the use of images collected by UAV in a stretch of Lavapés river, inside the domains of Lageado Experimental Farm in the municipality of Botucatu-SP. The images were obtained through MAPIR Survey3W RGB and Survey3W NIR/InfraRED sensors, aboard a 3DR SOLO multicopter UAV. For constructing RGB and NDVI orthomosaics, the images were processed using Pix4Dmapper 3.0 software. The NDVI result provided a clear transition among biotic targets (vegetation) and abiotic targets (water, soil and buildings), and among the vegetation itself, with greater vegetative vigor, making possible the distinction of arboreal vegetation, in relation to herbaceous vegetation. The images with high spatial resolution collected by UAV demonstrated the flexibility of use, having high potential to mapping landscape dynamics and the spectral response of vegetation.

Keywords: drone, radiometric index, remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto fundamenta-se na interação entre a radiação eletromagnética (REM) natural emitida pelo Sol ou por uma fonte de energia artificial, captada por sensores embarcados em satélites, aeronaves e em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), sendo este último aclamado como a mais recente inovação referente as geotecnologias, após a criação do *Global Positioning System* (GPS). Assim é possível obter-se então um conjunto de dados sobre um determinado alvo, sem a necessidade de entrar em contato direto com o mesmo (JENSEN, 2015; TAGLIARINI, 2017). O sensoriamento remoto ainda remete a interação simultânea entre sensores, equipamentos e transmissão de dados, com o objetivo de estudar os acontecimentos da superfície do globo terrestre pelas manifestações e interações da radiação eletromagnética e das substâncias presentes nas superfícies analisadas (NOVO, 2010).

Dessa forma, é possível obter o registro (imagem) de um alvo, por meio da radiação refletida ou absorvida por alvos presentes na superfície escaneada, sem a existência de contato direto do sensor com o alvo a ser estudado, analisando a partir do comportamento espectral, o que a imagem do objeto em estudo apresenta em cada comprimento de onda obtido (PEREIRA; SILVA; PAMBOUKIAN, 2016).

Comparado com outros tipos de plataformas no campo da fotogrametria os VANTs possuem como principal vantagem a sua logística referente a expansão na resolução temporal e flexibilidade na atualização de dados, possuindo uma grande diversidade de áreas de atuação desde recreativas (lazer), militar, construção civil, na agricultura, monitoramento ambiental, jornalismo, publicidade entre outros (SILVA, 2013).

Os VANTs possuem potencial de empregabilidade e de mercado bem grande, sobretudo nas áreas agrônômica e ambiental, possibilitando a obtenção de imagens e outros produtos de sensoriamento remoto com alta qualidade, velocidade e precisão. Sua utilização ao invés de outras técnicas de imageamento irá

depender das características da região de análise, da periodicidade para a obtenção de informações e do valor monetário do equipamento, dessa forma, ficando a critério do responsável pelo levantamento qual técnica de sensoriamento remoto melhor aplicar.

Uma dessas técnicas, que é empregada amplamente, como forma de monitoramento ambiental e estudos referentes às formações vegetais de uma dada localidade é por meio de índices radiométricos ou índices de vegetação (TAGLIARINI, 2020). Os índices de vegetação consistem em medidas radiométricas adimensionais obtidos do comportamento espectral da vegetação, que indicam a atividade fotossintética da vegetação, porcentagem de cobertura vegetal, teor de clorofila em plantas, acúmulo de biomassa, estágio de desenvolvimento, entre outras características (JENSEN, 2009).

Dentro do sensoriamento remoto, os índices de vegetação podem ser empregados como uma ferramenta auxiliar para a detecção e o reconhecimento da cobertura vegetal, possibilitando o seu destaque por meio de suas características espectrais, dessa forma, proporcionando uma melhor distinção em relação aos outros elementos presentes na paisagem (LIU, 2007). Sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), um dos mais conhecidos e amplamente empregado nas áreas ambiental e agrônômica, e consiste na razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, pela soma dessas mesmas refletividades (ROUSE et al., 1973).

O NDVI é capaz de quantificar e atribuir valores de -1 a 1 para a vegetação e outros corpos presentes na análise. Sendo a faixa próxima de -1 a 0, correspondente a corpos d'água, solos expostos e construções (áreas impermeabilizadas), enquanto que valores superiores a 0 até 1 indicam vegetação com diversificados valores de vigor e diferentes estágios de desenvolvimento (BORATTO; GOMIDE, 2013).

Este trabalho teve como objetivo realizar a obtenção do índice radiométrico NDVI para criação de um mapa temático por meio de aerofotogrametria e fotointerpretação,

com maior detalhamento da vegetação pela altíssima resolução espacial alcançada com o uso de imagens digitais coletadas por VANT em trecho acompanhando o rio Lavapés, dentro dos limites da Fazenda Experimental Lageado, localizada no município de Botucatu-SP.

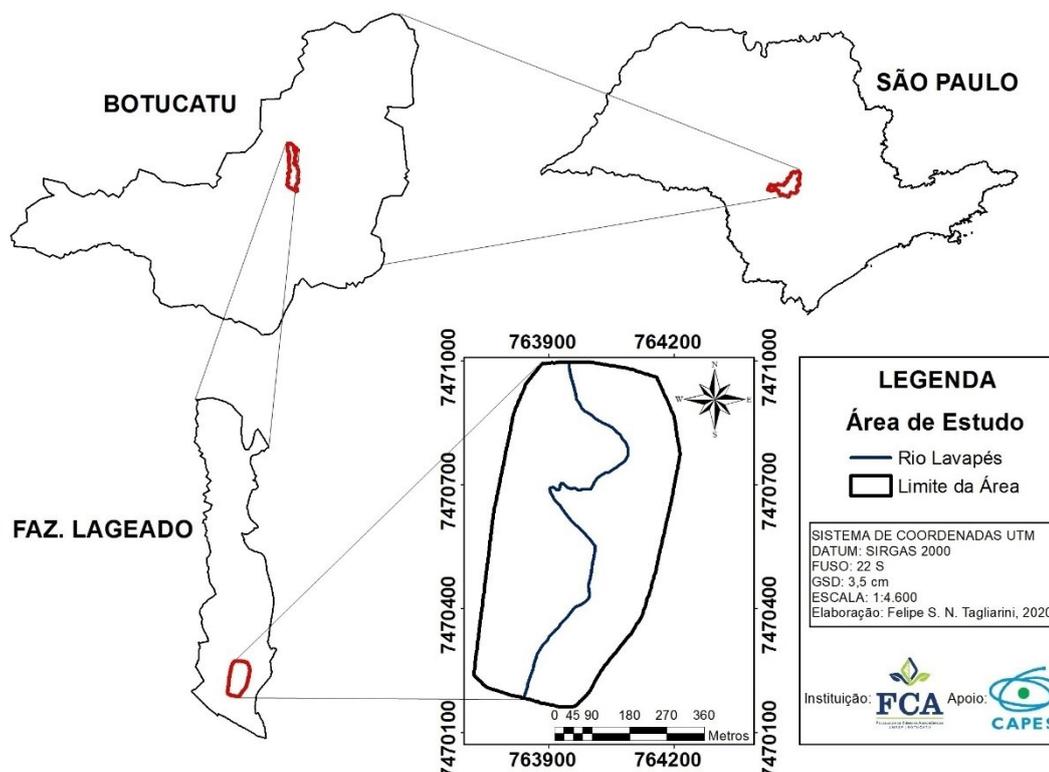
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

A área de estudo situa-se na Fazenda Experimental Lageado, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) e a

Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da UNESP, próxima ao Departamento de Engenharia Rural da FCA, em um trecho de APP do rio Lavapés, essa região está situada na divisa entre o perímetro urbano e rural do município de Botucatu (Figura 1), o qual está inserido na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, possuindo situação definida nas coordenadas UTM 763700 a 764300 Leste e 7470100 a 7471000 Sul, Fuso 22 S, Zona K (coordenadas geográficas expressas em 48° 25' 52" a 48° 25' 24" de longitude W Gr. e 22° 51' 22" a 22° 50' 49" de latitude S) e apresentando uma área total de 30,35 ha.

Figura 1. Localização da área de estudo na Fazenda Experimental Lageado



O clima da região, conforme a classificação climática de Köppen, para o município de Botucatu é do tipo Cwa, sendo definido como subtropical úmido com inverno seco e frio e chuvas no verão com uma maior intensidade, a temperatura média anual é de 21,5 °C, com uma precipitação média anual de 1385,5 mm, conforme dados da Estação Meteorológica Lageado, pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP) de Botucatu-SP.

Os solos presentes na área de estudo, conforme Carvalho, Espíndola e Paccola (1983) e atualizadas seguindo a classificação pedológica proposta pela Embrapa (2018) são: o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd), o LATOSSOLO VERMELHO Distróférico (LVdf), o NITOSSOLO VERMELHO Distrófico (NVd1), o NITOSSOLO VERMELHO Distrófico transição para LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (NVd2), o NEOSSOLO LITÓLICO

Distrófico substrato basalto (RLd), e o NEOSSOLO FLÚVICO Distrófico (RYbd).

A agricultura sempre fez parte da história da Fazenda Experimental Lageado e acompanhou fortemente a expansão da cafeicultura brasileira no início do século XX, com apogeu nos anos 20 até a crise da bolsa de valores de Nova York em 1929, sendo em seguida transformada em estação experimental de café e por fim em um espaço destinado ao ensino superior (ANTONINI, 1998). Na área de estudo, se tem como atividades agrícolas a parte

do Sítio Modelo, bem como área de pesquisa de campo do Departamento de Engenharia Rural da FCA e área de pastagem da FMVZ.

2.2 Plataforma de operação, equipamentos e softwares utilizados

As imagens aéreas foram coletadas por meio de um VANT do tipo multirrotor (quadrirotor), da marca/modelo 3DR Solo (Figura 2).

Figura 2. VANT quadrirotor 3DR Solo



Utilizou-se do *tablet* da marca AOC e modelo TABLET breeze™ 8” para o auxílio no controle do VANT bem como para a instalação do *software* de telemetria para a execução da missão de voo.

O *software* livre do tipo *ground station* Mission Planner 1.3.7 foi utilizado para a programação da missão, definição do trajeto e da linha de voo, telemetria entre o VANT e a plataforma móvel durante a missão.

O aplicativo de fotogrametria e fotointerpretação Pix4Dmapper 3.0 foi utilizado para a geração dos ortomosaicos RGB e infravermelho e o georreferenciamento dos mesmos, separação da corrente do vermelho da imagem RGB e o cálculo e geração do índice radiométrico do NDVI.

O *software* ArcGIS 10.5 foi utilizado para toda a parte de vetorização e também para a finalização e geração do *layout* de todos os mapas obtidos no estudo.

O alvo de calibração terrestre (*calibration ground target*) da MAPIR, foi utilizado para a calibração e correções de reflectância dos sensores da mesma (MAPIR Survey3W RGB e MAPIR Survey3W NIR/InfraRED).

Foram utilizados os sensores MAPIR Survey3W RGB (0,380 a 0,740 μm) e MAPIR Survey3W NIR/InfraRED (0,725 a 1,10 μm), ambos com resolução de 12.1 Megapixels (Figura 3).

Figura 3. Sensores MAPIR: Survey3W RGB e Survey3W NIR/InfraRED

No total foram coletadas quinhentas e oitenta e nove (589) imagens para construção de cada ortomosaico. As imagens foram obtidas no dia 17 de julho de 2018.

A velocidade de voo estipulada foi de 7 m/s ou 25,2 km/h. As imagens possuem recobrimento/sobreposição tanto frontal (*overlap*) como lateral (*sidelap*) de 80,00 %, uma vez que quanto maior a taxa de sobreposição, menor a probabilidade ao erro e maior a garantia que não falem dados no processamento, apesar de mais linhas de voo serem necessárias para cobrir a área. A altura do voo estipulada foi de 70 m, dentro do regimento da agência reguladora (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Em todas as imagens obtidas referentes a área de estudo, foi utilizado *Ground Sample Distance* (GSD) de 3,5 cm, em razão da altura de voo empregada, objetivando maior resolução das imagens e seguindo as normas e diretrizes da ANAC.

E adotou-se o SIRGAS 2000, datum horizontal oficial do Brasil, em todos os mapas obtidos e desenvolvidos no trabalho.

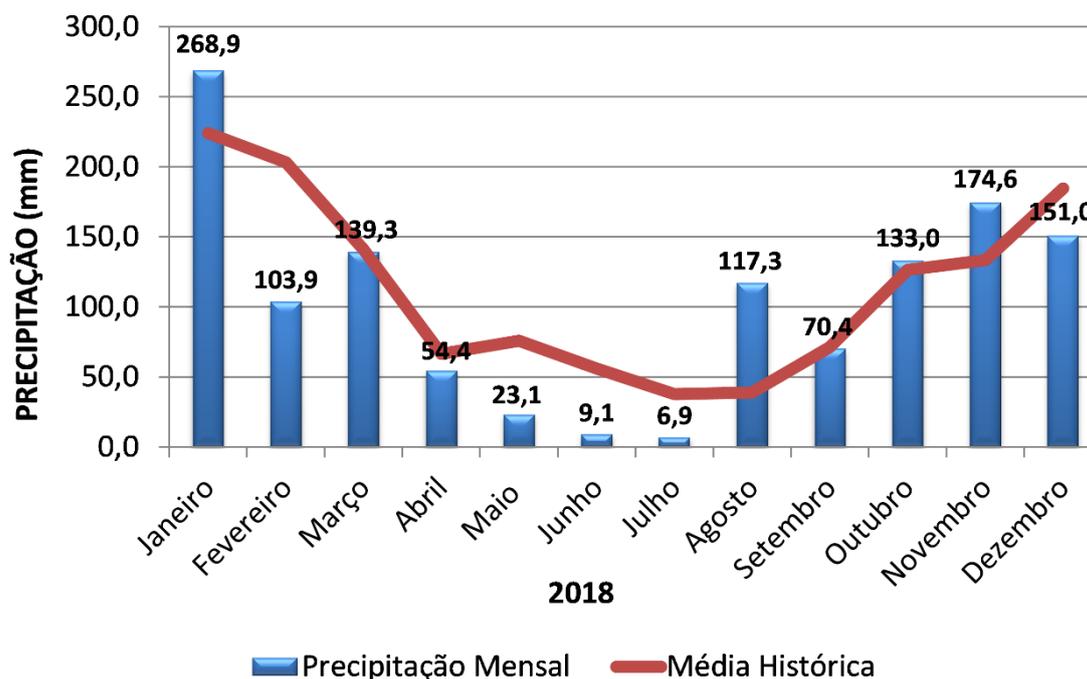
2.3 Dados meteorológicos

As imagens da área de estudo para a obtenção do NDVI foram coletadas no período de seca/inverno. A escolha por essa época do ano se deve ao fato de ser a melhor para observar a diferença entre as espécies de porte arbóreo e herbáceo, sendo mais fácil de distingui-las como observado por Sartori et al. (2009), Demarchi, Piroli e Zimback (2011), França et al. (2013), Albuquerque et al. (2014), Machado et al. (2014) e Tagliarini et al. (2017), já que as plantas herbáceas são mais sensíveis aos períodos de estiagem (seca).

Para saber o melhor período de obtenção das imagens, foi realizada uma análise do perfil histórico de precipitação no município de Botucatu-SP, com os dados de pluviosidade obtidos da Estação Meteorológica Lageado.

A região de Botucatu-SP, apresenta um perfil regular de chuvas anuais, com destaque para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro como os mais chuvosos e o período de estiagem ocorrendo a partir do mês de abril até o final de agosto (Figura 4). Observa-se que o mês de julho de 2018, foi o mais seco do ano, com menor regime de precipitação, em concordância com a média histórica de pluviosidade do município utilizada como base para se chegar no período em questão.

Figura 4. Comportamento da pluviosidade no ano de 2018 em Botucatu-SP



Elaboração: Felipe de Souza Nogueira Tagliarini, 2020.

2.4 Calibração da reflectância dos mosaicos RGB e NIR/InfraRED

As imagens de VANT, por serem produtos multiespectrais de baixa altitude, obtidas por plataformas sub-orbitais, não precisam de correções de influências atmosféricas por fenômenos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética. Diferente das imagens de satélites, as imagens de VANT necessitam apenas de correções de reflectância dos seus próprios sensores, corrigidas durante o próprio voo com a utilização de *calibration ground target*.

O *calibration ground target* é um alvo alocado ao nível do solo, que possui curvas de reflectância conhecidas, podendo ser capturado a partir de qualquer ângulo durante o voo, graças as suas propriedades difusas de reflexão. A correção de reflectância pelo *calibration ground target* proporciona uma melhora referente a normalização das imagens aéreas obtidas e, conseqüentemente, a geração dos mosaicos em RGB e infravermelho, e do índice de vegetação (NDVI).

2.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Com as imagens do melhor período para análise e a posterior obtenção das correntes predominantes dos espectros do vermelho (obtido da imagem RGB) e do infravermelho próximo (obtido da imagem NIR/InfraRED) das mesmas, essas imagens coletadas foram agrupadas formando um ortomosaico. Para a obtenção do índice radiométrico NDVI foi utilizada a função *Index Calculator* do *software Pix4Dmapper 3.0*.

Dessa forma, o índice radiométrico NDVI foi obtido conforme cálculo (Equação 1) baseado em Rouse, Haas e Schell (1974) e Tucker (1979).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad (1)$$

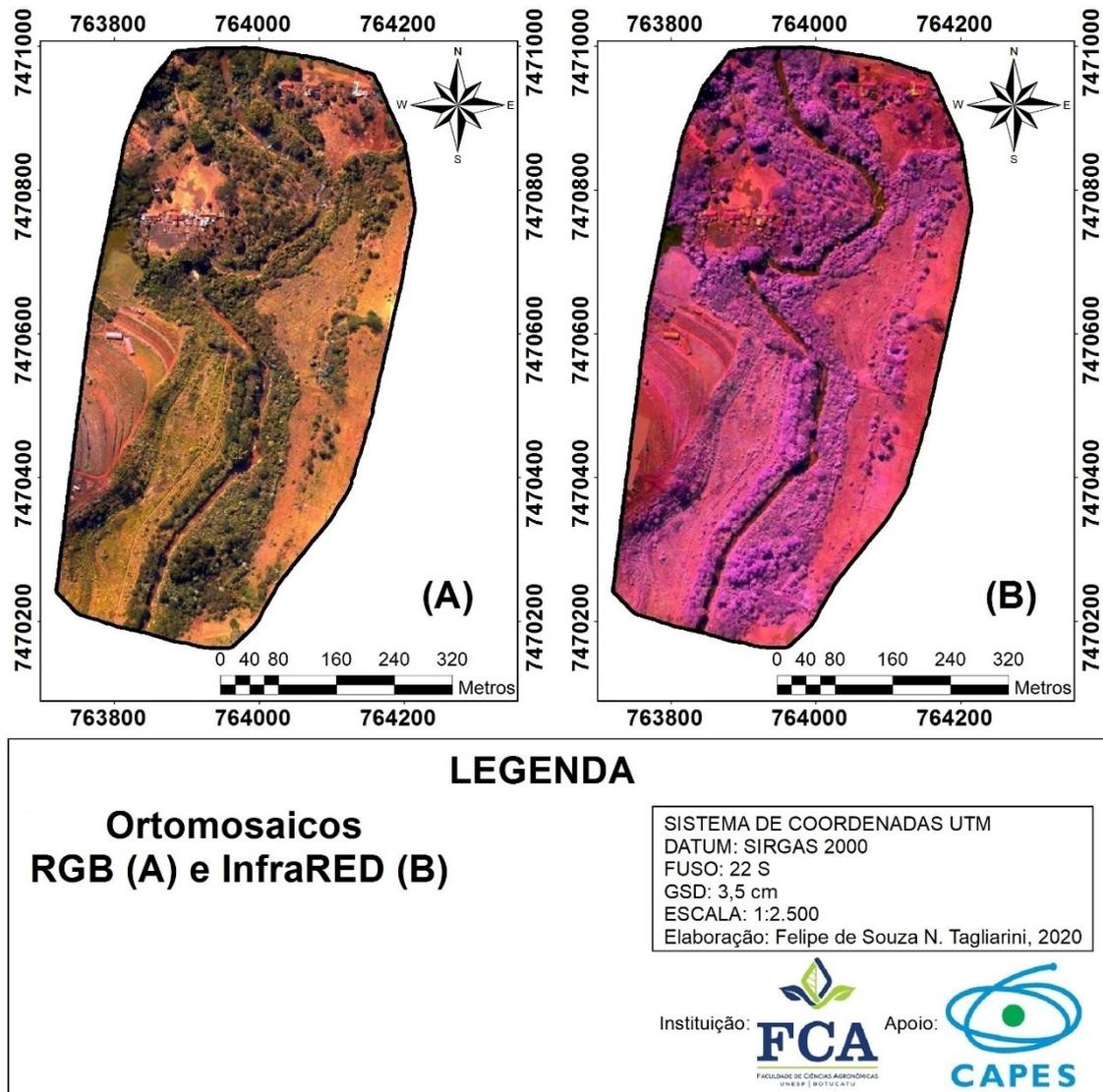
Onde: NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (adimensional); ρ_{NIR} corresponde a reflectância do infravermelho próximo (0,725 a 1,100 μm); e ρ_{RED} corresponde a reflectância na faixa do espectro vermelho visível (0,630 a 0,700 μm).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ortomosaicos retificados

Com as missões de coleta de informações com o VANT, foi possível a obtenção das imagens para a geração dos ortomosaicos retificado em RGB e infravermelho próximo (Figura 5).

Figura 5. Ortomosaicos RGB (A) e infravermelho (B) da área de estudo



Com a utilização de um GSD de 3,5 cm, as imagens coletadas possuem resolução espacial de mesmo valor e um alto grau de detalhamento dos objetos presentes na paisagem, sendo possível até mesmo observar as sombras das árvores.

A obtenção do conjunto de imagens no dia 17 de julho de 2018, no período de seca na região do município de Botucatu-SP, colaborou para uma distinção nítida entre os indivíduos de porte arbóreo para a vegetação herbácea ao redor, conforme constatado por Albuquerque et

al. (2014), Machado et al. (2014) e Tagliarini et al. (2017).

Na imagem do ortomosaico retificado na região do infravermelho próximo (NIR/InfraRED), fica ainda mais nítida a distinção entre as formas de vegetação e os alvos abióticos, como edificações, solo exposto e água, que ficam mais evidentes ainda nessa região do espectro, devido as plantas refletirem principalmente o comprimento de onda desse espectro.

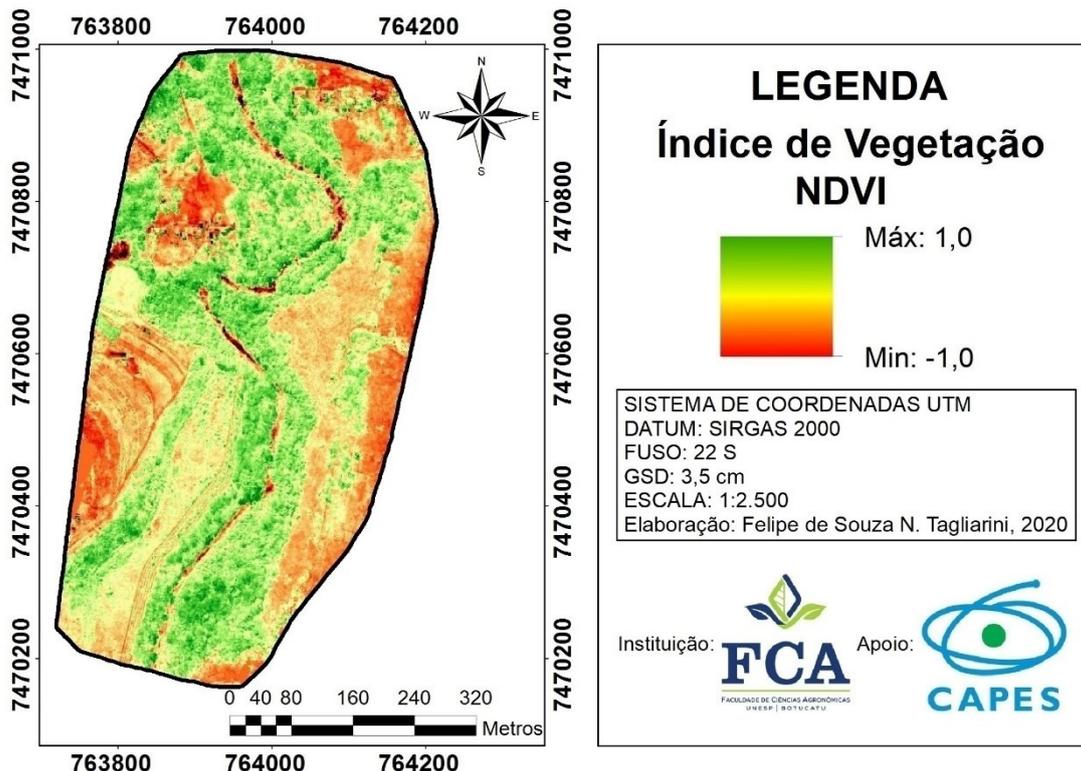
3.2 NDVI como instrumento no diagnóstico ambiental

Por meio do cálculo entre a razão da diferença das refletividades do vermelho visível, referente ao ortomosaico RGB e do

infravermelho próximo, referente ao ortomosaico NIR/InfraRED, pela soma das refletividades das mesmas, foi possível então obter o NDVI da área de estudo, em uma região considerada como um trecho de divisa entre o perímetro urbano e rural do município de Botucatu-SP.

Os resultados obtidos do índice radiométrico NDVI (Figura 6), apresentaram valores que variaram na faixa de -1 a 1, onde os valores mais próximos a 1, apresentam predominantemente, vegetação arbórea com indicio de alta atividade fotossintética da mesma, enquanto que os valores próximos a -1, indicam alvos abióticos das imagens, como demonstrado por áreas com solo exposto, áreas com ausência de culturas, edificações e corpo d'água (rio Lavapés).

Figura 6. Ortomosaico NDVI da área de estudo



De forma geral, o ortomosaico em NDVI apresentou extensas áreas, principalmente nas proximidades da região de APP hídrica, com tonalidades de verde claro e verde escuro, que são indicativos de uma alta atividade fotossintética e consequente maior

acúmulo de biomassa pela vegetação, que indicam espécies de porte arbustivo e arbóreo.

Já a tonalidade em amarelo, indica a presença principalmente de vegetação de porte herbáceo com uma atividade fotossintética mais baixa, por serem mais sensíveis ao período de

estiagem e de menor precipitação em que foram feitas as tomadas aéreas da área de estudo.

Enquanto que a coloração alaranjada, representam áreas com ausência de vegetação e exposição do solo. E por fim, as regiões com tonalidade avermelhada, indicam localidades que são impermeabilizadas, como edificações e

afloramentos rochosos, e também corpos d'água e locais com a presença de água superficial no solo. Na Tabela 1, é possível observar a distribuição em área e porcentagem dos valores referentes ao índice radiométrico do NDVI, encontrados para a área de estudo.

Tabela 1. Valores de NDVI da área de estudo e sua representatividade.

Valor de NDVI	Tonalidade	Área (ha)	Área (%)
< 0,00	Vermelho	3,09	10,17
0,00 - 0,20	Laranja	10,44	34,31
0,20 - 0,40	Amarelo claro	6,30	20,77
0,40 - 0,60	Amarelo escuro	0,45	1,48
0,60 - 0,80	Verde claro	9,91	32,65
0,80 - 1,00	Verde escuro	0,16	0,53
TOTAL	-	30,35	100,00

Pela perspectiva de distribuição espacial da vegetação de porte arbóreo e arbustivo e levando-se em conta os maiores valores referentes ao NDVI, é possível observar as similaridades dos resultados obtidos entre o ortomosaico em NDVI com as observações feitas por Sartori et al. (2009), Demarchi, Piroli e Zimback (2011) Barbosa, Carvalho e Camacho (2017) e Tagliarini et al. (2017) que utilizaram do mesmo índice de vegetação, ao aplicarem respectivamente, no município de Botucatu-SP, no município de Santa Cruz do Rio Pardo-SP, na Região Serrana de Martins e Portalegre-RN e na bacia hidrográfica do córrego do Petiço no município de Botucatu-SP, obtendo valores na faixa de 0,40 a 0,50 e 0,45 a 0,70, respectivamente.

Matese et al. (2015), ao aplicar e comparar os valores de NDVI encontrados por meio da utilização de diferentes plataformas, como VANT, aeronave tripulada e satélite, para obtenção de imagens com diferentes resoluções espaciais e, conseqüentemente, diferentes graus de detalhamento, segundo os autores, a utilização do VANT como plataforma de imageamento, obteve os melhores resultados para áreas com gradientes de vegetação mais espesso e/ou com um alto grau de heterogeneidade, pois as imagens de menor resolução obtidas pelas outras plataformas, não proporcionam o mesmo grau de detalhamento

em áreas com vegetação arbustiva e arbórea, dessa maneira, falham em representar parte da variabilidade fotossinteticamente ativa dessas formações vegetais.

4 CONCLUSÕES

A obtenção das imagens por VANT na época de seca do município de Botucatu-SP, sendo especificamente no mês mais seco do ano, possibilitou melhor distinção e bom grau de detalhamento entre a vegetação arbórea e herbácea, tanto no ortomosaico em RGB, quanto no ortomosaico em infravermelho e posteriormente no índice radiométrico NDVI.

O índice radiométrico NDVI proporcionou uma boa identificação tanto de alvos bióticos (vegetação), quanto abióticos (corpo d'água, solo e edificações), devido ao emprego dos espectros do vermelho visível e do infravermelho próximo no seu cálculo, uma vez que os alvos bióticos refletem esses espectros, enquanto que os abióticos absorvem, permitindo um grande contraste entre ambos.

As imagens com elevada resolução espacial coletadas por VANT demonstraram flexibilidade de utilização, podendo ser usadas tanto para uma análise visual (ortomosaico RGB), quanto para a obtenção de um índice radiométrico como o NDVI, possuindo, dessa maneira, elevado potencial para o mapeamento

de dinâmica da paisagem e do comportamento espectral da vegetação.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura (UNESP/FCA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por todo o auxílio e suporte na elaboração deste estudo.

6 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regulamento brasileiro da aviação civil especial RBAC-E nº 94. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil**. Brasília, DF: ANAC, maio 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 3 nov. 2020.
- ALBUQUERQUE, E. M.; ANDRADE, S. C. P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**, Rio Tinto, v. 1, n. 1, p. 01-11, 2014.
- ANTONINI, I. G. **Lageado**: um esboço de sua história. Botucatu: Unesp, 1998. 11 p.
- BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a Análise da Distribuição Espacial da Cobertura Vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre - Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 128-143, 2017.
- BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 7345-7352.
- CARVALHO, W. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado Estação Experimental “Presidente Médici”**. Botucatu: Unesp, 1983. 95 p. (Boletim, n. 1).
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo - SP usando imagens Landsat-5. **RA’E GA**, Curitiba, v. 21, p. 234-271, 2011.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.
- FRANÇA, L. M. A.; OLIVEIRA, T. H.; PEREIRA, J. A. S.; LINS, T. M. P.; GALVÍNCIO, J. D. Spatial analysis of caatinga vegetation in the municipality of Ibimirim-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, Recife, v. 3, n. 3, p. 59-70, 2013.
- JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 3. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2015. 544 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. ed. São José dos Campos: Parênteses, 2009. 598 p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 1. ed. Campo Grande: Uniderp, 2007. 881 p.

MACHADO, T. S.; CAIONI, C.; FERNANDES, R. S.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. A. S. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. *In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL*, 5., 2014, Campo Grande. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2014. p. 690-699.

MATESE, A.; TOSCANO, P.; DI GENNARO, S. F.; GENESIO, L.; VACCARI, F. P.; PRIMICERIO, J.; BELLI, C.; ZALDEI, A.; BIANCONI, R.; GIOLI, B. Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture. **Remote Sensing**, Basel, v. 7, n. 3, p. 2971-2990, 2015.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 387 p.

PEREIRA, L. S.; SILVA, D. O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 08-33, 2016.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. College Station: Texas A&M University, 1974. 371 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In: ERTS SYMPOSIUM*, 3., 1973, Washington, DC. **Anais [...]**. Washington, DC: NASA, 1973. p. 309-317.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; PIANUCCI, M. N.; ZIMBACK, C. R. L. Influência do período de estiagem no Índice de Vegetação (NDVI), no município de Botucatu-SP. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4363-4369.

SILVA, E. T. J. B. Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 9324-9331.

TAGLIARINI, F. S. N. **Imagens de drone e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para classificação segmentada em Áreas de Preservação Permanente (APP)**. 2020. Tese (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2020.

TAGLIARINI, F. S. N. **Técnicas de geoprocessamento aplicadas na quantificação de perdas de solo em bacia hidrográfica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2017.

TAGLIARINI, F. S. N.; RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; CAMPOS, S. Índices NDVI e NDWI como ferramentas ao mapeamento do uso e ocupação em bacia hidrográfica. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 18., 2017, Santos. **Anais** [...]. São José dos Campos: INPE, 2017. p. 2271-2278.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.