

ÍNDICE RADIOMÉTRICO NDVI EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE OBTIDO POR MEIO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA*

FELIPE DE SOUZA NOGUEIRA TAGLIARINI¹; MIKAEL TIMÓTEO
RODRIGUES²⁻³; BRUNO TIMÓTEO RODRIGUES³; ANA CLARA DE BARROS¹;
YARA MANFRIN GARCIA¹ E SÉRGIO CAMPOS¹

* Artigo oriundo da tese de doutorado de Felipe de Souza Nogueira Tagliarini

¹ Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, nº 3780, Altos do Paraíso, CEP: 18610-034, Botucatu, São Paulo, Brasil. E-mail: felipe_tagliarini@hotmail.com; anaclara_inha@hotmail.com; yaramanfrin@hotmail.com; sergio.campos@unesp.br

² Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Rua Castelo Branco, nº 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, nº 6731, Jardim Itaipu, Caixa Postal: 2039, CEP: 85867-900, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil. E-mail: mikael.rodrigues@pti.org.br; bruno.tr@bolsista.pti.org.br

1 RESUMO

O emprego das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como ferramenta no sensoriamento remoto possibilitou uma plataforma operante no mapeamento agrícola e ambiental com elevada precisão. O objetivo deste estudo consistiu na análise do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Área de Preservação Permanente (APP) ripária para elaboração de mapas temáticos por meio de aerofotogrametria e fotointerpretação, com maior detalhamento da vegetação devido à altíssima resolução espacial alcançada com o uso de imagens coletadas por RPA 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 RPA multirrotor 3DR SOLO. Para construção dos ortomosaicos RGB e NDVI, as imagens foram processadas no aplicativo Pix4Dmapper. O resultado do NDVI proporcionou transição bem nítidas entre os alvos bióticos (vegetação) e os alvos abióticos (corpo d'água), e também entre a própria vegetação, possibilitando a distinção da vegetação de porte arbóreo, com maior vigor vegetativo, em relação à vegetação de porte herbáceo. As imagens com elevada resolução espacial coletadas por RPA, demonstraram flexibilidade de utilização, possuindo elevado potencial para o mapeamento da dinâmica da paisagem e a resposta espectral da vegetação.

Palavras-chave: índice de vegetação, fotogrametria aérea, veículo aéreo não tripulado, sensoriamento remoto.

TAGLIARINI, F. S. N.; RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; BARROS, A. C.;
GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S.
NDVI RADIOMETRIC INDEX IN PERMANENT PRESERVATION AREA
OBTAINED THROUGH REMOTELY PILOTED AIRCRAFT

2 ABSTRACT

The use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) as a tool in remote sensing has enabled an operant platform in agricultural and environmental mapping with high precision. This study aimed to analyze the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in riparian Permanent Preservation Areas (APP) for elaboration of thematic maps through aerophotogrammetry and photointerpretation, with greater detail of vegetation due to the very high spatial resolution achieved with the use of images collected by RPA 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 RPA. For the construction of RGB and NDVI orthomosaics, the images were processed using Pix4Dmapper app. The NDVI result provided a clear transition among biotic targets (vegetation) and abiotic targets (waterbody), and also 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 RPA, demonstrated flexibility of use, having high potential to mapping landscape dynamics and the spectral response of vegetation.

Keywords: vegetation index, aerial photogrammetry, unmanned aerial vehicle, remote sensing.

3 INTRODUÇÃO

A fundamentação do sensoriamento remoto baseia-se na interação entre a radiação eletromagnética natural emitida pelo Sol ou por uma fonte de energia artificial, captada por sensores embarcados em dispositivos como satélites, aviões e em Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), sendo essa última aclamada como a mais recente inovação referente ao geoprocessamento, após a criação do sistema *Global Positioning System* (GPS). Possibilitando então, obter-se um conjunto de informações sobre um determinado objeto, sem ter a necessidade de entrar em contato direto com o mesmo (JENSEN, 2015; TAGLIARINI, 2017).

Dessa maneira, é possível a aquisição de dados referentes a um alvo por meio da radiação solar refletida ou absorvida pelo mesmo na superfície escaneada, sem a existência de contato direto do sensor com o alvo a ser estudado, analisando-se apenas seu comportamento espectral (PEREIRA; SILVA; PAMBOUKIAN, 2016).

O recente desenvolvimento de técnicas de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélites e de RPAs, proporcionou um novo leque de ferramentas para o mapeamento, tornando essa atividade mais rápida e fácil (ALFONSO-TORREÑO et al., 2019). A fotogrametria digital por meio de mapeamento aéreo via RPAs, ajustada por *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) e baseada em *Real Time Kinematic* (RTK), é uma técnica eficiente para o mapeamento, pois permite a representação gráfica e a quantificação de informações com elevada resolução espacial, gerando imagens ortorretificadas precisas, que possibilitam a cobertura de áreas relativamente grandes, porém em um curto espaço de tempo, visto que permitem a geração de estimativas rápidas (RODRIGUES et al., 2021; RODRIGUES, 2020).

Comparado com outros tipos de plataformas no campo da fotogrametria, as RPAs possuem como principal vantagem a sua logística referente à expansão na resolução temporal e flexibilidade na atualização de dados, proporcionando a

obtenção de produtos com elevada resolução espacial e com valor agregado maior, viabilizando projetos principalmente no ramo de mapeamento agrícola e ambiental. Possibilitando a aquisição de produtos de sensoriamento remoto como imagens e outros com qualidade, velocidade e precisão. Destaca-se, contanto, que sua utilização irá depender das características da região, do tipo de análise a ser empregada, da periodicidade para a obtenção de informações e do valor monetário do equipamento, dessa forma, fica a critério do responsável pelo levantamento qual técnica de sensoriamento remoto melhor se aplica ao seu projeto.

Uma metodologia de sensoriamento remoto empregada como forma de monitoramento ambiental em estudos dos usos e ocupação do solo de um determinado local, é o cálculo de índices radiométricos ou índices de vegetação, que são elaborados a partir do comportamento espectral de alvos bióticos e abióticos, representando as atividades dos mesmos (TAGLIARINI, et al., 2021; TAGLIARINI, 2020). Os índices de vegetação consistem em medidas radiométricas adimensionais, são obtidos por meio da verificação do comportamento espectral da vegetação, e 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, 2015).

Um dos índices radiométricos mais empregados e difundidos globalmente para o mapeamento da vegetação, principalmente, em estudos agrônômicos e ambientais, é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que consiste na razão entre a diferença das refletividades das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, pela soma dessas mesmas refletividades (ROUSE; HAAS; SCHELL, 1974). O NDVI é um indicador que possui intervalo de -1 para áreas sem vegetação, impermeabilizadas e com corpos d'água até

1 para vegetação com folhas, que estejam na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas. Quanto mais verde, nutrida, sadia e bem suprida for a planta, maior será a absorção do vermelho e maior será a refletância do infravermelho (PEREIRA; SILVA; PAMBOUKIAN, 2016).

O NDVI é um índice muito empregado no monitoramento de perfis sazonais e temporais de atividades agrícolas e florestais, para analisar em diferentes tipos de vegetação, a longevidade do período de desenvolvimento (maturação, floração, frutificação e colheita), bem como, dos momentos de intervenções no manejo devido a mudanças no comportamento espectral encontrados nesses tipos de vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012).

Este trabalho teve o objetivo de realizar a obtenção do índice radiométrico NDVI em uma Área de Preservação Permanente (APP) ripária para a criação de mapas temáticos por meio de aerofotogrametria e fotointerpretação, com o intuito de acessar um maior detalhamento da vegetação pela resolução espacial alcançada com o uso de imagens digitais coletadas por RPA em um trecho do rio Lavapés, localizado dentro dos limites da Fazenda Experimental Lageado, Botucatu, SP.

4 MATERIAL E MÉTODOS

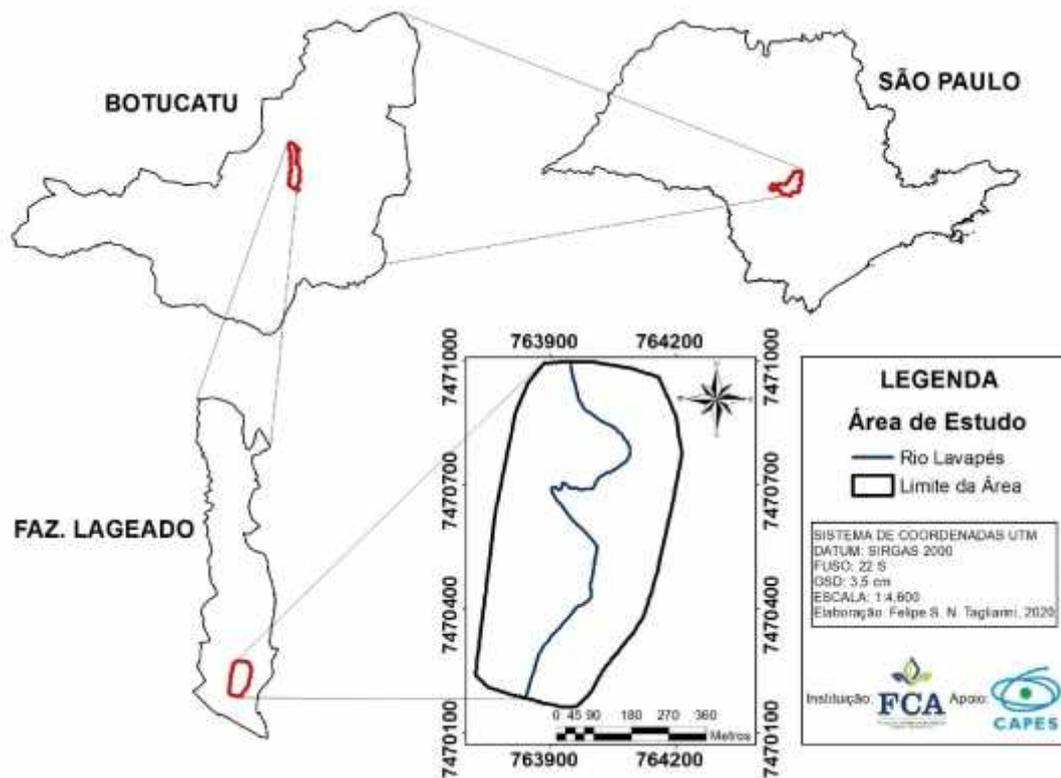
4.1 Descrição da área de estudo

A área de estudo encontra-se na Fazenda Experimental Lageado, a qual é pertencente a Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) e a Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) da Universidade Estadual Paulista (Unesp), localizada nas proximidades do 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 entre as

coordenadas UTM 763700 a 764300 Leste e 7470100 a 7471000 Sul, Fuso 22 S, Zona K, 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 à Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA/UNESP) de Botucatu, SP.

Os solos presentes na área de estudo, conforme Carvalho, Espíndola e Paccola (1983), com informações e atualizadas segundo a classificação pedológica proposta pela Embrapa (2018) são: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd), LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (LVdf), NITOSSOLO VERMELHO

Distrófico (NVd1), NITOSSOLO VERMELHO Distrófico transição para LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (NVd2), NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico substrato basalto (RLd), e NEOSSOLO FLÚVICO Distrófico (RYbd).

A vegetação nativa remanescente da Fazenda Experimental Lageado é referente ao bioma Mata Atlântica. Como a área de estudo está situada em região de APP do rio Lavapés, a formação nativa presente é a de floresta estacional semidecidual, que na área é oriunda da vegetação ciliar, que também se distribui paralelamente ao longo do rio, com uma composição florística rica e diversificada, reunindo espécies de famílias botânicas como *Fabaceae*, *Bignoniaceae* e *Arecaceae* (ANTONELLI; BATISTA, 2019).

4.2 Plataforma de operação, *softwares* e parâmetros de voo

As imagens aéreas da área de estudo foram obtidas por meio de uma RPA do tipo

multirrotor (quadrirotor), modelo 3DR Solo da fabricante americana 3D Robotics (Figura 2).

Figura 2. RPA quadrirotor 3DR Solo



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), foram utilizados para o registro das imagens aéreas referentes a área de estudo.

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



Também foi utilizado o *tablet* da AOC, modelo TABLET breeze™ 8” para auxiliar no controle da RPA bem como para a instalação do *software* de telemetria para a execução da missão de voo. Utilizou-se do *software* livre do tipo *ground station* Mission Planner 1.3.7 para a programação da missão, definição do trajeto e da linha de voo, telemetria entre a RPA e a plataforma durante a missão.

Foi empregado o alvo de calibração terrestre (*calibration ground target*) da MAPIR para a calibração e correção de refletância dos sensores (MAPIR Survey3W RGB e MAPIR Survey3W NIR/InfraRED).

O aplicativo de fotogrametria e fotointerpretação Pix4Dmapper foi usado para a geração dos ortomosaicos na composição em vermelho-verde-azul (RGB) e em infravermelho, georreferenciamento, separação da corrente do vermelho da imagem RGB e o cálculo e geração do índice radiométrico NDVI. O *software* ArcGIS 10.5 foi empregado para toda a parte de vetorização e também para a finalização e geração do *layout* dos mapas obtidos no estudo.

Foram obtidas um total de quinhentos e oitenta e nove (589) imagens para a construção de cada ortomosaico. As imagens foram coletadas em um único dia, em 17 de julho de 2018. A velocidade de voo estipulada foi de 7 m/s (25,2 km/h). As imagens possuem recobrimento/sobreposição tanto frontal (*overlap*) como lateral (*sidelap*) de 80,00 %, uma vez que quanto maior for a taxa de sobreposição, menor a probabilidade ao erro e maior a garantia de que não falem dados no processamento, apesar de mais linhas de voo serem necessárias para recobrir a área. A altura do voo estipulada foi de 70 m e está dentro do regimento da agência reguladora (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Foi adotado um *Ground Sample Distance* (GSD) de 3,5 cm em todas as imagens obtidas, referente à área de estudo em função da altura de voo empregada, objetivando assim, uma maior resolução das imagens, e seguindo as normas e diretrizes da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Adotou-se o datum SIRGAS 2000, que é o datum horizontal oficial do Brasil, em todos os mapas obtidos e desenvolvidos no trabalho.

4.3 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 a observação da 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), visto que as plantas herbáceas são mais sensíveis aos períodos de estiagem (seca).

Para a escolha do melhor período de obtenção das imagens, foi realizada uma análise do perfil histórico de precipitação no município de Botucatu-SP (1988 - 2018), observando-se 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, com 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 e perfil histórico de Botucatu, SP (1988 - 2018)



4.4 Calibração da reflectância dos mosaicos RGB e NIR/InfraRED

As imagens de RPA, 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 oriundas de RPA necessitam apenas de correções de reflectância dos seus sensores, corrigidas com a utilização do *Calibration Ground Target* - CGT (TAGLIARINI, et al., 2021).

O CGT 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 às suas propriedades difusas de reflexão. A reflectância corrigida por meio do CGT proporciona uma melhora referente à normalização das imagens aéreas obtidas e, conseqüentemente, a geração dos mosaicos e do índice de vegetação, no caso o NDVI (TAGLIARINI, 2020).

Em que: NDVI é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (adimensional); NIR corresponde à reflectância do infravermelho próximo (0,725 a 1,100 μm); e RED corresponde à reflectância na faixa

4.5 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 aplicativo Pix4Dmapper.

O índice radiométrico NDVI foi obtido conforme cálculo (Equação 1) baseado em Rouse, Haas e Schell (1974) e Tucker (1979). Após a obtenção do NDVI, o mesmo foi dividido em classes por escala de valores do índice conforme Tagliarini (2020) e Tagliarini et al. (2021).

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

do espectro vermelho visível (0,630 a 0,700 μm).

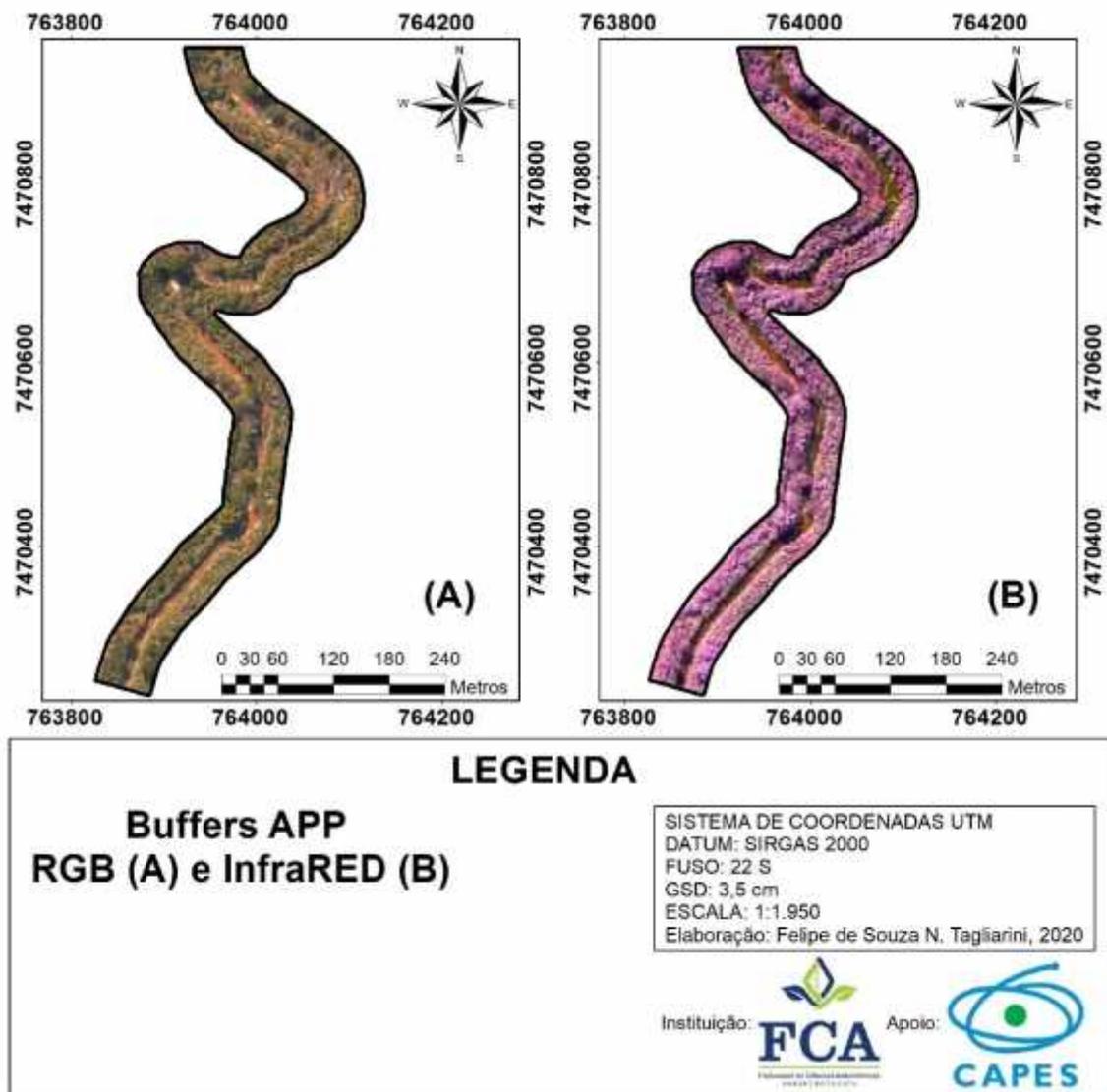
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise da APP ripária da área de estudo

Para uma análise mais detalhada referente ao uso e ocupação do solo na APP ripária da área de estudo, foi realizado um recorte (*buffer*) nos ortomosaicos em RGB e infravermelho de 30 m (Figura 5), uma vez

que esse trecho do rio Lavapés contém largura inferior a 10 m, com uma área total de 5,96 ha, seguindo a legislação florestal vigente, Lei nº 12.651, com as modificações propostas na Lei nº 12.727 de 2012, que define o tamanho das faixas de APP conforme a largura do corpo hídrico superficial (BRASIL, 2012a; BRASIL, 2012b).

Figura 5. *Buffer* da APP ripária em RGB (A) e infravermelho (B) da área de estudo



Dessa maneira, pode-se distinguir com maior facilidade os diferentes padrões e tipos de ocupação do solo, bem como da vegetação devido às diferentes espécies

nativas, exóticas e agrícolas presentes na região de APP da área de estudo.

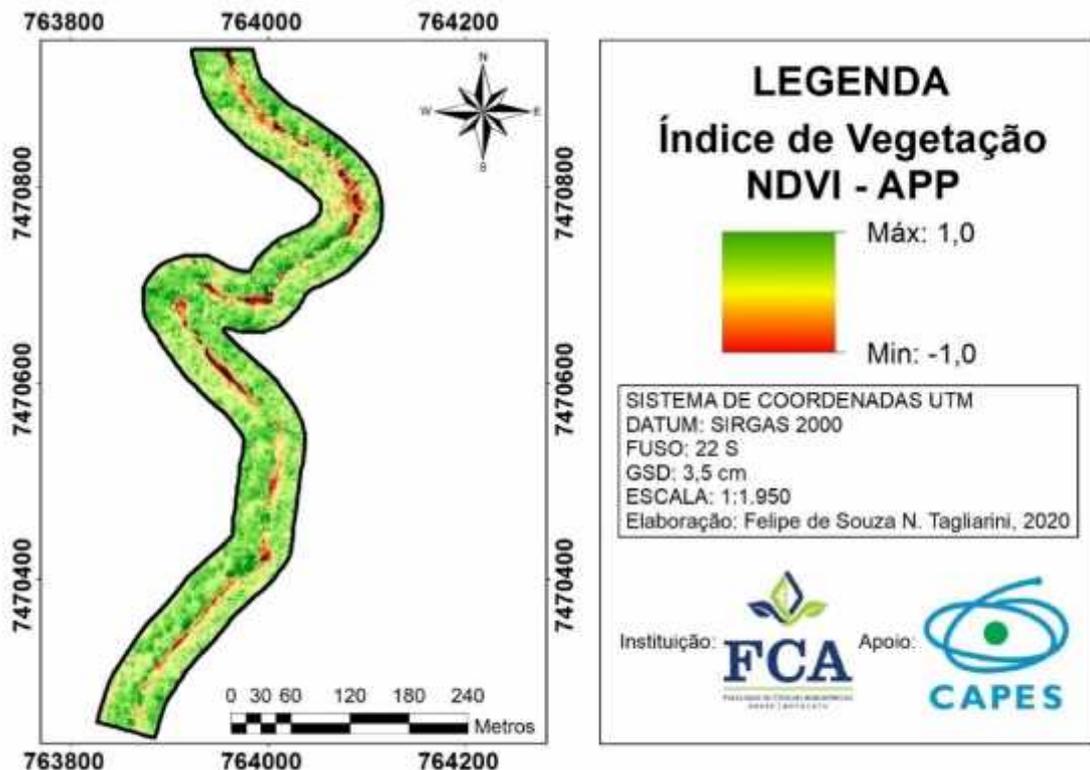
O recorte do *buffer* da APP ripária referente ao ortomosaico em infravermelho

próximo, tornou a distinção entre a vegetação ciliar do rio Lavapés e os demais usos do solo presentes na área de estudo, ainda mais evidente, devido ao comportamento espectral por parte da vegetação de porte arbóreo, arbustivo e herbáceo existentes na região, pois a vegetação reflete principalmente o espectro de radiação referente à faixa do infravermelho próximo. Sendo assim, foi possível identificar a existência ou não de usos e ocupações do solo inadequados na região de APP, apenas observando o comportamento espectral da vegetação.

5.2 NDVI como instrumento de análise da APP ripária

A sensibilidade de resposta obtida pelo índice radiométrico NDVI (Figura 6), demonstra que uma considerável proporção de APP, em uma análise espacial do *buffer* de 30 m, foi ocupada de maneira irregular, ou possui formas de vegetação consideradas como sendo não adequadas para a constituição da vegetação ciliar na área de estudo.

Figura 6. Buffer da APP ripária em NDVI referente à área de estudo



O leito do rio Lavapés apresentou valores negativos de NDVI bem próximos ao valor de -1, exibindo um comportamento espectral bem típico desse alvo abiótico, uma vez que ao contrário das formações vegetais (alvos bióticos), esse (alvo) não reflete o comprimento de onda na faixa do infravermelho próximo e sim o absorve, semelhante aos resultados obtidos por

Sartori et al. (2009), Demarchi, Piroli e Zimback (2011), Rodrigues e Rodrigues (2012), Barbosa, Carvalho e Camacho (2017), Tagliarini et al. (2017), Tagliarini (2020) e Tagliarini et al. (2021), que demonstraram que o índice radiométrico do NDVI apesar de ser idealizado para a detecção sobre aspectos da vegetação, devido aos comprimentos de onda

empregados para o seu cálculo, também identifica de forma bem destacada os corpos d'água presentes nas imagens digitais.

Essa faixa de valor negativo do índice de vegetação, além da região do leito, pode corresponder a áreas como geoformas poligonais de alvos correspondente a presença de corpos d'água em geral, solos com afloramento superficial de água, solos descobertos, solos com processos de erosão,

afloramentos rochosos, e áreas impermeabilizadas como vias, estradas, edificações e construções rurais. A distribuição espacial dos valores negativos (entre 0 e -1) ocorre de forma dispersa ou agrupada, localizadas ao longo de toda a faixa de APP ripária, conforme pode ser observado na Tabela 1, seguindo a classificação proposta por Tagliarini (2020) e Tagliarini et al. (2021).

Tabela 1. Valores de NDVI da APP ripária e sua representatividade.

Valor de NDVI	Classes	Área (ha)	Área (%)
< 0,00	Leito do rio	0,89	14,93
0,00 - 0,20	Mistura espectral	0,40	6,75
0,20 - 0,40	Vegetação herbácea menos densa	1,10	18,51
0,40 - 0,60	Vegetação herbácea densa	1,34	22,48
0,60 - 0,80	Vegetação arbórea menos densa	2,18	36,64
0,80 - 1,00	Vegetação arbórea densa	0,05	0,69
TOTAL	-	5,96	100,00

Já os valores positivos de reflectância, oscilando entre 0,40 e 0,80, apontam uma taxa de atividade fotossintética mais elevada, com a presença predominante de vegetação arbórea mais densa, indicando uma correta cobertura do solo referente à vegetação ciliar presente na zona de APP. Enquanto os valores agrupados entre a faixa de valores de 0,00 a 0,40, indicam uma taxa de atividade fotossintética mais baixa, com ocorrência de uma mistura espectral de áreas sem vegetação, ou com a presença de cobertura vegetal menos densa, como arbustos e principalmente a classe de vegetação herbácea, em concordância com os valores obtidos por Matese *et al.* (2015) por meio de RPA para um levantamento em viticultura, em que os autores também encontraram alvos apresentando mistura espectral, além da presença de áreas com ausência de vegetação, atrapalhando na

correta identificação da classe presente no valor de NDVI encontrado.

5.3 Usos do solo na APP ripária da área de estudo

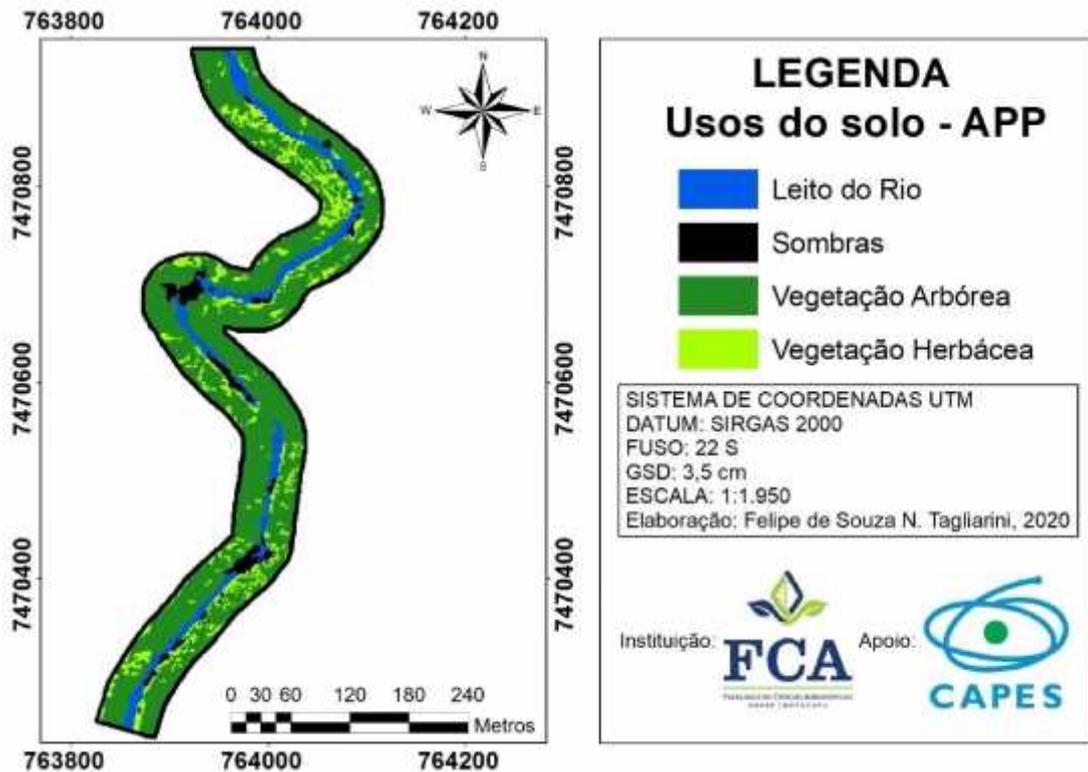
Com base nos ortomosaicos em RGB e NDVI foi possível identificar quatro classes de usos do solo na APP ripária da área de estudo (Tabela 2). Observa-se que a classe mais abrangente corresponde à "Vegetação Arbórea", com área total de 4,16 ha (69,89 %), composta por arbustos e árvores de pequeno e grande porte. A segunda classe em abrangência é a "Vegetação Herbácea", apresentando área total de 0,90 ha (15,14 %), composta por extratos herbáceos, principalmente gramíneas, seguida pelas classes "Leito do Rio" com 0,64 ha (10,69 %) de área e, por fim, a classe "Sombras", que corresponde à área total de 0,26 ha (4,28 %).

Tabela 2. Classes de usos do solo na APP ripária da área de estudo.

Classes de usos	Área (ha)	Área (%)
Leito do Rio	0,64	10,69
Sombras	0,26	4,28
Vegetação Arbórea	4,16	69,89
Vegetação Herbácea	0,90	15,14
TOTAL	5,96	100,00

Verifica-se que praticamente 3/4 da área total da APP ripária (Tabela 2 e Figura 7) do trecho de estudo do rio Lavapés, é composta principalmente por indivíduos de

porte arbóreo, estando, portanto, dentro do que preza a legislação florestal vigente (Lei 12.651/2012 e Lei 12.727/2012).

Figura 7. Usos do solo presentes na APP ripária da área de estudo

Porém, observando uma das imagens referentes ao ortomosaico em RGB (Figura 8), do trecho do rio Lavapés com largura inferior a 10 m, pode-se verificar como parte dos 30 m de margem referentes à APP ripária, os quais deveriam conter apenas vegetação nativa de porte arbóreo na faixa ciliar da área de estudo, apresenta a presença

de coberturas do solo (gramíneas, outras formas de vegetação herbácea e fragmentos de área agrícola) em não conformidade com a legislação florestal vigente (Lei 12.651/2012 e Lei 12.727/2012), o que não garante a proteção integral da APP nesses trechos.

Figura 8. Uso incorreto do solo em APP do rio Lavapés



6 CONCLUSÃO

A coleta de imagens por RPA possui como grande vantagem seu uso em qualquer época do ano, tanto em períodos de seca quanto de chuva, sem problemas com a nebulosidade, e proporcionando a tomada de imagens na periodicidade que for necessária (baixa resolução temporal), além de gerar produtos com alto grau de detalhamento e ao permitir resolução espacial centimétrica.

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

As imagens com alta resolução espacial obtidas por RPA demonstraram flexibilidade de utilização, podendo ser utilizadas tanto para uma análise visual

(ortomosaico RGB) quanto para a obtenção de um índice radiométrico como o NDVI, possuindo, dessa forma, potencial para o mapeamento da dinâmica da paisagem e do comportamento espectral da vegetação.

Os dados obtidos pelo presente estudo podem contribuir também para a melhoria e o aperfeiçoamento das técnicas empregadas no monitoramento ambiental devido à confiabilidade dos resultados, dessa maneira, contribuindo para a fiscalização e o cumprimento da legislação florestal brasileira.

7 AGRADECIMENTOS

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.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017. Regulamento brasileiro da aviação civil especial RBAC-E nº 94. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ed. 83, p. 52, 3 maio 2017.

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. 1-11, 2014.

ALFONSO-TORREÑO, A.; GÓMEZ-GUTIÉRREZ, A.; SCHNABEL, J.; CONTADOR, J. F. L.; BLASCO, J. J. S.; FERNÁNDEZ, M. S. sUAS, SfM-MVS photogrammetry and a topographic algorithm method to quantify the volume of sediments retained in check-dams. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 678, n. 35 p. 369-382, 2019.

ANTONELLI, V. R.; BATISTA, R. C. B. Caracterização da avifauna na Fazenda Experimental Lageado, Botucatu, São Paulo. **Atualidades Ornitológicas**, Ivaiporã, v. 208, n. 1, p. 42-52, 2019.

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.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 18 out. 2012. 2012a.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 28 maio 2012. 2012b.

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, n. 1, p. 234-271, 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: 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 Ibitimir-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. Hoboken: Pearson Prentice Hall, 2015. 544 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.

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. 8-33, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.

RODRIGUES, B. T.; ZEMA, D. A.; GONZÁLEZ-ROMERO, J.; RODRIGUES, M. T.; CAMPOS, S.; GALLETERO, P.; PLAZA-ÁLVAREZ, P. A.; LUCAS-BORJA, M. E. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for estimating soil volumes retained by check dams after wildfires in mediterranean forests. **Soil Systems**, Basel, v. 5, n. 1, p. 01-17, 2021.

RODRIGUES, B. T. **Topografia na validação de modelo de terreno obtido por meio de Aeronave Remotamente Pilotada - RPA**. 2020. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2020.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T. Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em imagens CBERS 2B no município de Botucatu-SP. **BIOENG**, Tupã, v. 6, n. 3, p. 139-147, 2012.

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.

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.

TAGLIARINI, F. S. N.; RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; GARCIA, Y. M.; CAMPOS, S. Imagens de Veículo Aéreo Não Tripulado aplicadas na obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 36, n. 1, p. 111-122, 2021.

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 (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, 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 Agrônômicas, 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.