

COMPARAÇÃO DO NDVI OBTIDO POR MEIO DE DRONE E SATÉLITE NAS FASES FENOLÓGICAS DA VIDEIRA

MARYJANE DINIZ DE ARAÚJO GOMES¹; RODRIGO MÁXIMO SÁCHEZ ROMÁN²; ALFONSO TORRES-RUA³; ÉLVIS DA SILVA ÁLVES⁴ E MAC MCKEE³

¹ Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Pará, BR 316, km 65, Campus Castanhal, s/n, CEP. 68740-970, Castanhal, Pará, Brasil, maryjane.gomes@ifpa.edu.br

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Botucatu – Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Avenida Universitária, 3780, Altos do Paraíso – Fazenda Experimental Lageado CEP. 18610-034, Botucatu/SP, Brasil, rodrigo.roman@unesp.br

³ Utah State University, AggieAir Utah Water Research Laboratory, 1600 Canyon Road, Logan/UT, 84321, USA, alfonso.torres@usu.edu, mac.mckee@usu.edu

⁴ Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, CEP: 36570-000, Viçosa-MG, Brasil, Email: elvistv@gmail.com

1 RESUMO

As diversas interações do meio biofísico, sejam por fatores bióticos ou abióticos, dificultam os estudos do comportamento das áreas cultivadas através de métodos padrões. A utilização de plataformas com sensores de alta resolução espacial possibilita detectar a heterogeneidade de culturas como a videira, por meio do NDVI. O objetivo do trabalho foi avaliar o NDVI obtido por imagens do VANT *AggieAir Minion* e do Landsat 8, em diferentes fases fenológicas da videira *Pinot Noir*. As imagens foram coletadas no Condado de Sacramento, Califórnia USA. O processamento das imagens foi realizado por meio do *Quantum GIS* (QGIS). Constatou-se uma subestimação do NDVI calculado por meio das imagens do Landsat 8, na fase de crescimento de baga, apresentando valores menores (0,68) do que os encontrados pelo VANT (0,87). Nessa fase os valores de NDVI devem ser mais próximos de 1,0, pois a planta encontra-se em pleno desenvolvimento vegetativo. O detalhamento das imagens depende da resolução espacial do sensor que a plataforma carrega, sendo assim considerando que a distância entre as linhas da videira era de 3,35 m, e devido ao tamanho do pixel do Landsat 8, foi detectado uma maior área de solo exposto devido à influência da máxima semelhança de veracidade que é utilizada pela linguagem do algoritmo utilizado no *software* de programação. Portanto, pode-se concluir que a resolução espacial influencia em valores de índice vegetativo em fases fenológicas da videira e, conseqüentemente, nos parâmetros biofísicos estimados por ele, mostrando assim que as imagens capturadas por VANT expressam valores mais próximos do real para a avaliação do NDVI em videiras.

Palavras-chave: VANT *AggieAir*, Landsat 8, *Pinot Noir*.

COMPARISON OF NDVI OBTAINED BY DRONE AND SATELLITE IN THE PHENOLOGICAL PHASES OF GRAPEVINE
GOMES, M. D. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; TORRES-RUA, A.; ÁLVES, E. S.; MCKEE, M

2 ABSTRACT

Several interactions of the biophysical environment, whether by biotic or abiotic factors, hinder the study of crops' behavior using standard methods. The use of platforms with high spatial resolution sensors enables detecting heterogeneity of crops such as grapevine through NDVI. This study aimed to evaluate the NDVI obtained using images from the *AggieAir Minion* UAV and Landsat 8 in different phenological phases of the *Pinot Noir* grapevine. The images were collected in Sacramento County, California, USA. Image processing was performed using *Quantum GIS* (QGIS). We observed an underestimation of the NDVI calculated using Landsat 8 images in the berry growth phase, presenting lower values (0.68) than those obtained by the VANT (0.87). The NDVI values should be closer to 1.0 in this phase because the plant is in full vegetative development. The details of the images depends on the spatial resolution of the sensor that the platform carries. Thus, considering that the distance between the lines of the vine was 3.35 m, and due to the pixel size of the Landsat 8, a larger soil-exposed area was detected as a consequence of the maximum similarity of veracity used by the algorithm language employed in the programming software. The resolution influences the vegetative index values in phenological phases of grapevine and, consequently, the biophysical parameters estimated by them, showing that the UAV images convey values more similar to reality for NDVI evaluation in grapevines.

Keywords: UAV *AggieAir*, Landsat 8, *Pinot Noir*.

3 INTRODUÇÃO

Os ciclos da água e biogeoquímicos estão cada vez mais sendo influenciados pelas mudanças climáticas que provocam condições meteorológicas extremas, as quais estão ocorrendo devido a diversos fatores tais como mudanças no uso do solo, incêndios florestais, dentre outros. Nesse sentido, o sensoriamento remoto é uma tecnologia capaz de fornecer informações com resoluções espaciais relevantes da superfície terrestre, podendo explorar dados geofísicos e fornecer informações sobre as características do solo e da biomassa da vegetação (HUBBARD *et al.*, 2021).

Existe uma demanda crescente no uso do sensoriamento remoto por meio de índices de vegetação para a avaliação de cultivos agrícolas devido essa ser uma ferramenta que possibilita a coleta de dados em tempo real, uma análise periódica mais curta, assim como a redução do uso de trabalho manual quando comparada aos

métodos tradicionais de avaliação de campo (COSTA; NUNES; AMPATZIDIS, 2020).

Os índices de vegetação podem ser utilizados para analisar as propriedades espectrais de uma vegetação, seja em um ecossistema ou área agrícola, por meio de operações aritméticas entre as bandas espectrais das imagens coletas pelos sensores, devido ao comportamento de refletância das superfícies analisadas (FRANCISCO *et al.*, 2020). Apesar de existirem vários índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) mostra-se bastante eficiente na análise e interpretação de dados da superfície terrestre (ALVES; LOVERDE-OLIVEIRA, 2020).

Diversos estudos, utilizando as técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de cultivos agrícolas, estão contribuindo com a crescente utilização do NDVI na análise de estimativa de evapotranspiração, discriminação de áreas agrícolas, ataque de pragas e doenças, entre outras aplicações (JUNGES *et al.*, 2017;

MAHMOUD; GAN, 2019). Castro *et al.* (2018) constataram a viabilidade do uso do NDVI para monitorar as fases fenológicas de diversas culturas (arroz, milho, girassol, noz e uva), otimizando o gerenciamento das áreas cultivadas.

Não obstante ao aumento do uso do sensoriamento remoto por meio de imagens, existem algumas limitações, tais como a periodicidade e a resolução dos sensores embarcados nas plataformas. Quando se compara o uso de imagens de satélites a imagens VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado), a resolução pode influenciar nas análises dos resultados obtidos, uma vez que altas resoluções podem extrair informações mais detalhadas da superfície terrestre (GOMES, 2019).

A demanda por informações espaciais com um alto nível de detalhes em áreas agrícolas e em ecossistemas cresce diariamente. Através das informações coletadas, utilizando técnicas de sensoriamento remoto com alta resolução espacial, é possível realizar a gestão de informações agrícolas confiáveis, permitindo assim os produtores tomarem decisões mais rápidas com respeito às suas colheitas, podendo até auxiliar gestores no fortalecimento de políticas de desenvolvimento rural, segurança alimentar e competitividade do setor agrícola (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, 2013; MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2018).

Segundo Dash, Pearse e Wantt (2018), o surgimento de novos sensores e plataformas possibilita o aumento do alcance das técnicas de sensoriamento remoto, fornecendo informações detalhadas da vegetação, sendo o VANT uma plataforma que possibilita a utilização de sensores de alta resolução, com características mais sensíveis às mudanças da vegetação, podendo detectar estresse fisiológico até de árvores individuais.

Apesar do VANT ser uma alternativa de uso para a captura de imagens de altas resoluções com menores periodicidades, comparado ao uso de satélite, alguns estudos propõem que seja realizado o uso integrado de ambas as plataformas, pois apesar da menor resolução das imagens de satélite, eles são essenciais na avaliação de áreas extensas. Sendo assim, alguns estudos relatam que quando integrado o uso de VANT e ao de satélite numa mesma área de cobertura, é possível produzir mapas mais precisos sem perder a heterogeneidade espacial, permitindo uma melhor classificação da cobertura das áreas agrícolas ou dos ecossistemas (PLA *et al.*, 2019; ZHAO *et al.*, 2019).

O monitoramento da vegetação com VANT pode fornecer dados relevantes, utilizando o NDVI, para a avaliação dos cultivos agrícolas devido à resolução dos sensores embarcados, uma vez que quando combinado com procedimentos para vincular as variáveis mapeadas, o VANT pode ser uma ferramenta útil à otimização do manejo adequado dos sistemas agrícolas (BLEKOS *et al.*, 2021).

O NDVI é um excelente índice para indicar vigor vegetativo, principalmente, levando em consideração culturas com desenvolvimento de baixo porte (cereais ou hortaliças),-fornecendo informações sobre a atividade vegetativa fotossintética e de densidade de crescimento da biomassa das espécies vegetais. Já para culturas arbóreas descontínuas, como videiras, a resposta espectral do topo do dossel descreve apenas uma parte do vigor da planta, uma vez que o crescimento vegetativo total da planta não é avaliado de forma adequada quando essa análise é realizada utilizando sensores de baixa resolução espacial (MATESE; DI GENNARO, 2021).

Analizando a literatura do assunto abordado, é notório que a utilização de plataformas com sensores de alta resolução espacial é mais adequada para a avaliação do vigor de videiras, pois a elevada

heterogeneidade das vinhas pode ter diferentes respostas fisiológicas, com consequências diretas na qualidade e no rendimento da produção, sendo de suma importância estudos que priorizem esses aspectos.

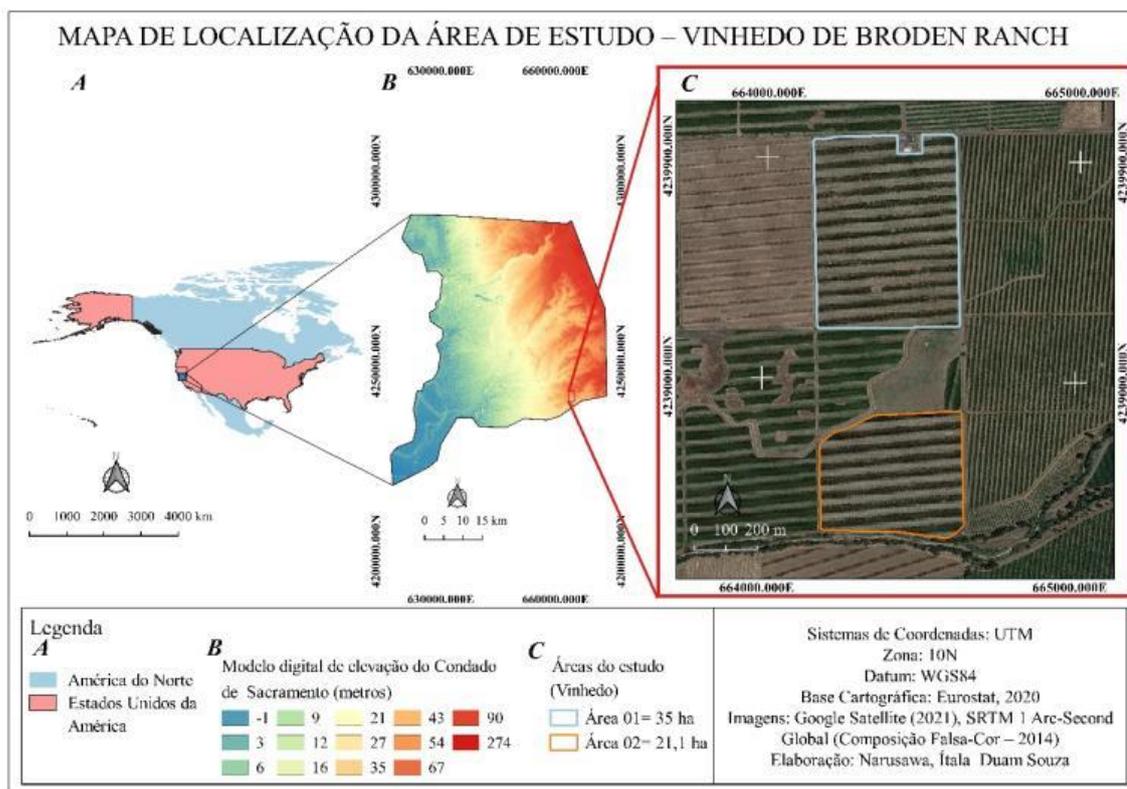
Diante do exposto, é de fundamental importância para os viticultores, o desenvolvimento de tecnologias para assessorar no manejo da vinha. Apesar do sensoriamento remoto ser uma ferramenta bastante difundida, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar o NDVI calculado pelo VANT *AggieAir Minion* e o satélite *Landast*

8 em diferentes fases fenológicas da videira *Pinot Noir*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo está localizada no Condado de Sacramento, Califórnia, USA, em um vinhedo do *Broden Ranch* com a variedade *Pinot Noir*, nas coordenadas geográficas 38°17'35,21" e 38°16'41,58" de latitude Norte, 121°7'23,12" e 121°7'2,94" de longitude Oeste (Figura 1), e altitude de 37 m. O *Datum* utilizado foi o WGS 84 / UTM ZONA 10N.

Figura 1. Localização do vinhedo em estudo nos EUA (A), no estado da Califórnia (B) e no Borden Ranch (C) no Condado de Sacramento



As imagens utilizadas para esta pesquisa foram financiadas pelo Projeto GRAPEX (*Grape Remote sensing Atmospheric Profile and Evapotranspiration eXperiment*) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of*

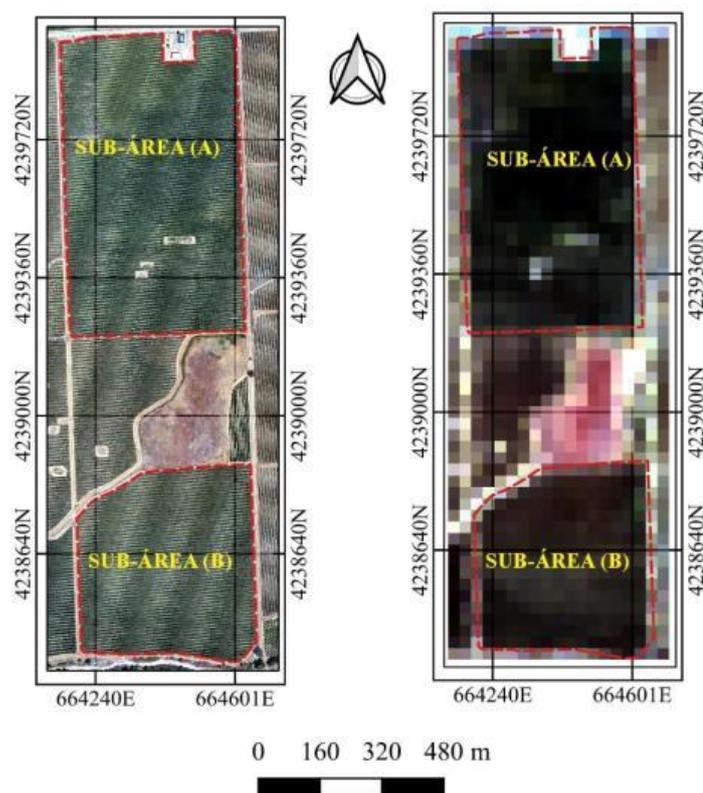
Agriculture - USDA), sendo coletadas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Pesquisa de Água da Universidade de Utah (Utah State University - USU).

As imagens foram capturadas pelo VANT *AggieAir Minion* e pelo satélite *Landsat-8*. A área de estudo possui 55,4 ha

sendo dividida em duas subáreas. A subárea A, referente ao norte da área total e a subárea

B, referente ao sul, possuindo 34,4 e 21 ha, respectivamente (Figura 2).

Figura 2. Imagem aérea da área de estudo capturada pelo VANT AggieAir (esquerda) e pelo satélite Landsat-8 (direita) para o mesmo local, ambas obtidas no dia 11 de julho de 2015



WGS 84 / UTM ZONA 10N

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Csa, caracterizado como clima mediterrâneo de verão quente, com temperaturas médias anuais de 15°C e o mês mais seco do verão recebe menos de 30 mm de chuva.

A área possui videiras irrigadas por meio do sistema de gotejamento em solo argiloso, com dois emissores por planta a 30 cm do solo, com vazão média aferida de 4 L h⁻¹. As treliças da videira estão a uma distância de 3,35 m, possuindo dois cordões, sendo o primeiro localizado a 1,45 m do solo e segundo a 1,9 m. Normalmente, a maior parte da biomassa da videira *Pinot Noir* está

concentrada na metade superior da altura do dossel e geralmente essa espécie cresce de 2,0 a 2,5 m do solo (KUSTAS *et al.*, 2018).

As câmeras, embarcadas no VANT AggieAir, variavam de câmeras Canon S95 de nível comercial a monocromáticas Lumenera tipo industrial. A câmera Canon S95 possuía resolução radiométrica de 8 bit e resolução óptica/modelo digital da superfície de 15 cm, já a câmera monocromática Lumenera apresentava resolução radiométrica de 14 bit e 10 cm de resolução óptica/modelo digital da superfície, ambas estavam equipadas com filtros de banda espectrais RGB (*Red, blue e green*) e NIR (*near-infrared*) equivalentes às

especificações dos sensores embarcados no Landsat 8.

Foram coletadas imagens nas fases de floração (02/05/2016), 1º fase de crescimento de baga (02/06/2015), 2º fase de crescimento de baga (11/07/2015) e maturação dos frutos (09/08/2014). A temperatura e a umidade relativa do ar média nos dias das coletas das imagens foram: 21°C e 48%, 19°C e 57%, 21°C e 59% e 19°C e 57%, respectivamente.

Diferentes das imagens de satélite, para a calibração das imagens do VANT, foi utilizado um *calibration ground target* para a calibração dos sensores das câmeras, com a finalidade de realizar correções de refletância em cada dia de voo. Todos os quatro voos foram realizados com elevação do VANT a 450 m do solo.

As imagens do satélite Landsat 8 foram adquiridas na interface de usuário do *EarthExplore* (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2019), ferramenta desenvolvida pelo *United States Geological Survey* (USGS). Para a estimativa do NDVI utilizando as imagens de satélite, foi necessário a conversão radiométrica das bandas 4 e 5 do satélite Landsat-8, que se referem à conversão dos números digitais (DN) em valores físicos e a correção atmosférica, realizada por meio do método DOS (*Dark Object Subtraction*), apresentado por Chavez (1988).

Na conversão radiométrica, os DN são transformados em valores de radiância espectral (Equação 1) de acordo com a metodologia proposta por Allen *et al.* (2002).

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (01)$$

Em que: L_{λ} = radiância espectral no topo da atmosfera, $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$; M_L = Fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda a partir do arquivo metadados; A_L = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda a partir dos metadados

(deslocamento); e Q_{cal} = valores do pixel da banda espectral (DN).

Em seguida, foi calculado a refletância de cada banda (Equação 2) pela razão entre o fluxo de radiação refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, conforme Allen *et al.* (2002).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos Z} \quad (02)$$

Em que: ρ_{λ} = refletância no topo da atmosfera, adimensional; L_{λ} é a radiância espectral de cada banda, $ESUN_{\lambda}$ = irradiância média solar no topo da atmosfera para cada banda, $W.m^{-2}.\mu m^{-1}$; Z = ângulo zenital solar (radianos); e d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas.

Todos os processos de correção e processamento das imagens de satélite, assim como as imagens de VANT, foram realizados por meio do recurso computacional *Quantum GIS* (QGIS), versão 2.14.9.

O NDVI foi calculado utilizando as bandas do infravermelho próximo e do vermelho das imagens obtidas pelo VANT AggieAir e pelo satélite Landsat 8 (Equação 3) por meio da razão entre a diferença das refletâncias das bandas no infravermelho próximo e o vermelho pela soma dessas mesmas refletividades (ROUSE *et al.*, 1973). Esse índice é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1.

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (03)$$

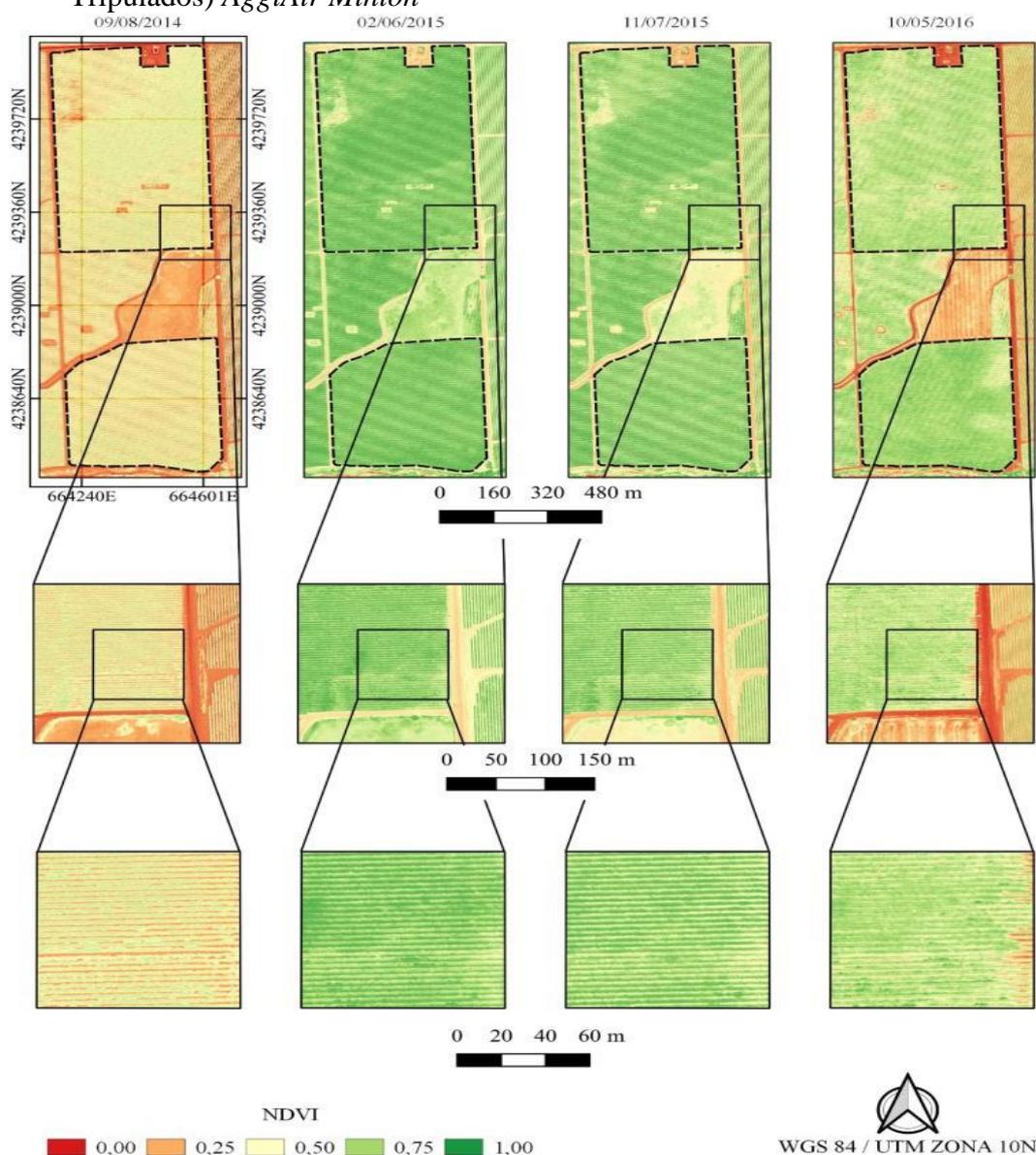
Em que: ρ_4 e ρ_3 são os valores de refletâncias das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento espectral da vegetação e do solo, obtidos por meio de imagens utilizando sensores específicos em uma plataforma, seja ela um VANT ou uma plataforma orbital, pode ser avaliado por meio de índices de vegetação de alvos da superfície e retratam o comportamento das mudanças temporais e espaciais da superfície terrestre.

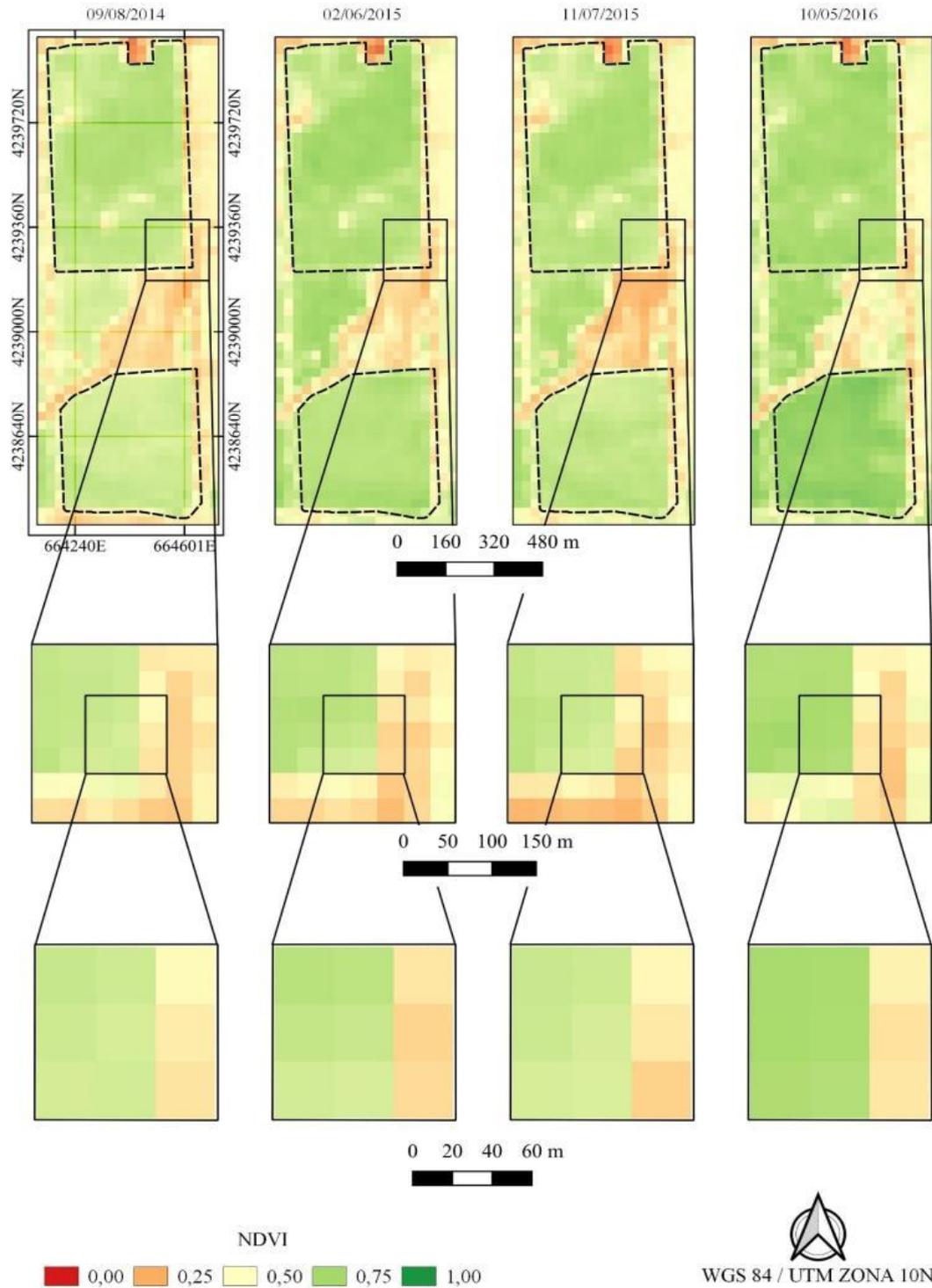
O NDVI obtido por meio de imagens de VANT (Figura 3) e do satélite Landsat 8 (Figura 4) com datas sequenciadas nessas figuras representando as fases de final de maturação, 1^o e 2^o fase de desenvolvimento de baga e floração, é apresentado a seguir. Percebe-se que o detalhamento das imagens depende da resolução espacial do sensor que a plataforma carrega.

Figura 3. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para a cultura da videira determinado por meio de imagens obtidas com VANT (Veículos Aéreos não Tripulados) AggiAir Minion



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 4. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para a cultura da videira determinado por meio de imagens do satélite Landsat 8



Fonte: Elaborado pelos autores

Os sensores utilizados no VANT AggieAir, para a captura de imagens e

obtenção do NDVI possuem uma resolução espacial de 0,15 m x 0,15 m, na imagem de

09/08/2014 e de 0,10 m x 0,10 m nas demais imagens, essas resoluções espaciais resultam em 44 pixels/m² e 100 pixels/m², respectivamente. Já os sensores (OLI – *Operational Land Images*) utilizados na plataforma Landsat 8 possuem uma resolução espacial de 30 m x 30 m, o que significa que a área de cada pixel da imagem é 900 m².

Sun *et al.* (2017) utilizaram imagens coletadas pelo Landsat 7 e Landsat 8 para a obtenção do NDVI em videiras, na mesma área de estudo desta pesquisa, e constataram diferenças de valores obtidos por essas plataformas, justificando que uma das razões é a diferença dos sensores quanto à refletância das bandas utilizadas para o cálculo do NDVI, pois eles possuem resoluções radiométricas diferentes, iguais a 8 e 12 bits, respectivamente. A resolução radiométrica é a sensibilidade do sensor em detectar pequenas variações, logo, o sensor OLI (Landsat 8) possui uma maior sensibilidade e um maior nível de cinza que o sensor ETM+(Landsat 7), representando por consequência uma maior intensidade de energia eletromagnética.

Considerando que a área de um pixel das imagens do Landsat 8 é 900 m², percebe-se na Figura 4 a baixa resolução espacial dessas imagens comparadas às imagens do VANT AggieAir (Figura 3), sendo assim, pode-se afirmar que o detalhamento da imagem é influenciado pelo tamanho do pixel. Sampaio *et al.* (2020), analisando o NDVI obtido com imagens de sensores embarcados em VANT e do Landsat 8, constataram que a resolução espacial interfere na qualidade das imagens e, consequentemente, no índice de vegetação resultante dessas imagens, corroborando com os resultados desta pesquisa.

Observando a área que foi destacada nas imagens de VANT e de satélite, constata-se que o NDVI calculado por meio das imagens do Landsat 8 pode não representar o real comportamento dos dados de campo, pois devido ao tamanho do pixel,

foi detectada uma maior área de solo exposto em virtude da distância existente entre linhas da videira de 3,35 m, isto acontece por consequência da influência da máxima semelhança de veracidade utilizada pela linguagem do algoritmo do *software* de geoprocessamento, o que dificulta a avaliação da variabilidade da cultura pela mistura espectral solo, planta e sombra.

Neste contexto, pode-se afirmar que as imagens de VANT obtêm um maior detalhamento da área e, consequentemente, expressam melhores resultados dos índices calculados por elas. Calculando o NDVI por meio de imagens de satélite e VANT em videiras, Khaliq *et al.* (2019) constataram que a resolução espacial pode alterar os resultados, pois quanto menor for o pixel da imagem, melhor será a representatividade do vigor e do dossel da cultura, resultando em mapas de alta resolução espacial ao emprega-se imagens de VANT, comparados aos mapas adquiridos por imagens de satélite.

O NDVI é utilizado para detectar diversas características de vitalidade das culturas agrícolas. Todavia, para que essa caracterização represente as condições mais próximas do real, é fundamental que se tenha uma imagem de boa resolução, podendo assim caracterizar-se a biomassa, a taxa fotossintética e a demanda hídrica do cultivo, sendo necessário um maior detalhamento da área.

Segundo Khaliq *et al.* (2019), as informações radiométricas adquiridas por plataformas orbitais não possuem resolução espacial suficiente para avaliar adequadamente o vigor do dossel de videiras e a variabilidade da cultura, corroborando com os resultados desta pesquisa.

Para mapear a fenologia da videira em uma escala detalhada por meio de análise de NDVI a fim de compreender suas fases fenológicas e processos biofísicos, imagens capturadas por VANT apresentam vantagens, visto que têm maior potencial na análise de períodos críticos da produção em

oposição à dinâmica fenológica registrada por imagens de satélites, pois uma resolução espacial de 30 m x 30 m pode comprometer os resultados (BERRA, GAULTON, BARR, 2019; LIU *et al.*, 2017).

Os valores de NDVI podem variar entre -1 e 1, sendo as superfícies que contêm água ou nuvens, representadas por valores menores que zero, áreas que contêm solo

exposto, com valores próximos ou igual a zero e áreas com vegetação apresentando valores maiores que zero e próximos de 1 (PEREIRA; SILVA; PAMBOUKIAN, 2016). Nesta pesquisa, os valores de NDVI calculados por meio de imagens de VANT e satélite, em cada área e fase da cultura analisada estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) das subáreas Norte e Sul calculados por meio de imagens do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) *AggieAirMinione* do satélite Landsat 8

Estádio fenológico	LANDSAT 8		VANT	
	SUBÁREA A (NORTE)	SUBÁREA B (SUL)	SUBÁREA A (NORTE)	SUBÁREA B (SUL)
Floração	0,72 (0,039) ^x	0,66 (0,027) ^x	0,75 (0,050) ^x	0,75 (0,029) ^x
1º fase de crescimento de baga	0,67 (0,040) ^x	0,77 (0,042) ^x	0,87 (0,038) ^x	0,88 (0,016) ^x
2º fase de crescimento de baga	0,68 (0,050) ^x	0,69 (0,029) ^x	0,84 (0,050) ^x	0,85 (0,023) ^x
Maturação dos frutos	0,71 (0,040) ^x	0,62 (0,029) ^x	0,59 (0,026) ^x	0,58 (0,024) ^x

^x representa o desvio padrão (σ) dos valores de cada estágio fenológico estudado e para cada método utilizado.

Fonte: Elaborado pelos autores

Espera-se que o comportamento do NDVI seja crescente na fase de brotação até o início da maturação, pois corresponde à fase de crescimento vegetativo e, posteriormente, no enchimento dos frutos; constante na fase próxima à colheita até a colheita propriamente dita, pois uma vez que nessa fase toda a área foliar já está desenvolvida e está ocorrendo o suprimento dos “drenos” (frutos); e decrescente após a fase de colheita, considerando que após essa fase é realizada uma poda para que ocorra a renovação das folhas com uma nova floração.

No início do processo de floração, o NDVI deve ser maior que na fase de maturação dos frutos e menor que nas fases de crescimento da baga. Os valores

expressos de NDVI pelas imagens capturadas são semelhantes em ambas as plataformas. Contudo, ao compará-los com as fases anteriores dentro da mesma plataforma, percebemos que os valores expressos pelas imagens do Landsat 8 (Tabela 1) não assumem o comportamento adequado, visto que a variação entre fases não obedece de forma coerente os valores crescentes, constantes e decrescentes nas fases estudadas.

Nas fases de crescimento de baga, os valores de NDVI devem ser maiores do que na fase de maturação dos frutos, pois nessas fases a planta encontra-se em pleno desenvolvimento. Esses valores são expressos de forma mais coerente nas imagens capturadas por VANT (Tabela 1),

verificando-se um incremento em relação à fase anterior (maturação dos frutos), de 50% na 1ª fase de crescimento da baga e 44,8% na 2ª fase de crescimento da baga na subárea A e, na subárea B, um incremento de 50% e 46,5%, respectivamente. Já nos valores de NDVI expressos pelas imagens do LANDSAT 8, houve uma redução na subárea A de 5,6% e 4,2%, respectivamente, e um incremento respectivamente de 13% e 23% na subárea B.

Os valores de NDVI na maturação dos frutos da videira, expressos nas imagens capturadas pelo Landsat 8 (0,71 e 0,68), são superiores aos valores expressos pelas imagens do VANT (0,58). Nessa fase, a imagem foi capturada no final de verão e próximo do outono. Nesse período, as folhas da videira estão começando a ficar vermelhas e amarelas, com isso ocorre a redução da clorofila e, conseqüentemente, os valores de NDVI são menores.

Sendo assim, pode-se inferir que os valores de NDVI deveriam ser menores, ou mais próximos de zero, o que representa uma área com solo exposto e pouca vegetação. Nas imagens capturadas pelo VANT pode-se visualizar este menor valor, em ambas as áreas, e isto pode ter ocorrido devido a imagem apresentar melhor resolução espacial, logo o algoritmo calculou o índice esperado de forma mais precisa.

Estudos analisando o dossel em videiras realizados na Califórnia, indicam que as imagens de resolução de 30 m x 30 m do Landsat 8 são úteis na avaliação da variação das condições de desenvolvimento da cultura, porém imagens de alta resolução espaço-temporal, possibilitam informações mais detalhadas das plantas e das entre linhas, facilitando assim a obtenção de resultados expressos por índices vegetativos inclusive durante os estágios fenológicos críticos da cultura (SUN *et al.*, 2017).

Junges *et al.* (2017), estudando videiras na região da Serra Gaúcha, verificaram que os perfis temporais de

NDVI obtidos através de sensoriamento remoto utilizando imagens de plataformas terrestre, refletem o acúmulo de biomassa ao longo do ciclo, possibilitando o monitoramento do crescimento e desenvolvimento das plantas durante os estágios fenológicos e as mudanças de dossel. Os mesmos autores afirmam que o NDVI, obtido por meio de sensores em plataformas terrestres, pode ser usado na caracterização do vigor do dossel vegetativo em vinhedos em contrapartida a partir ao uso de dados meteorológicos e de práticas de manejo em tempo real, as quais são difíceis de quantificar por outros métodos tradicionais já utilizados, sendo uma plataforma terrestre de coleta remota de dados, indicada como uma opção rápida e precisa, se comparada com as plataformas orbitais.

Um estudo de caso para vinhedos no estado de Washington, USA, realizado para estimar o crescimento da cultura por meio de NDVI, utilizando-se imagens de satélites, constatou a superestimativa de valores de NDVI nas fases analisadas (BADR *et al.*, 2015), corroborando com os resultados encontrados nesta pesquisa, uma vez que os valores de NDVI encontrados por meio da plataforma orbital Landsat 8, na fase de maturação dos frutos, são valores mais altos do que os encontrados pela plataforma terrestre VANT (Tabela 1), caracterizando uma superestima por essa ser uma fase em que a cultura apresenta menor área foliar e as folhas possuem menores teores de clorofila, o que deveria acarretar em um menor valor de NDVI.

Junges *et al.* (2017), utilizando sensores em plataformas terrestres, encontraram valores de NDVI para a videira entre 0,80 e 0,86 na fase de frutificação, ratificando os resultados desta pesquisa, na qual verificou-se valores de NDVI, por meio de VANT, variando de 0,84 a 0,88, na mesma fase supracitada (Tabela 1).

6 CONCLUSÃO

O resultado deste trabalho mostrou que as resoluções espaciais e radiométricas influenciam nos valores de NDVI na cultura da videira em cada fase fenológica e, conseqüentemente, nos parâmetros biofísicos que podem ser estimados por meio desse índice. Constatou-se que as imagens capturadas por VANT expressam valores mais próximos do real e em uma escala temporal mais satisfatória para o uso no manejo da irrigação de videiras, em contrapartida às imagens capturadas pelo satélite Landsat 8.

7 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo

apoio financeiro concedido por meio da bolsa do doutorado e pela bolsa de estudos concedida para estágio de doutoramento nos Estados Unidos

Ao grupo de pesquisa do Laboratório de Pesquisa de Água da Universidade de Utah (Utah State University - USU). Projeto GRAPEX (*Grape Remote sensing Atmospheric Profile and Evapotranspiration eXperiment*) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (*United States Department of Agriculture - USDA*).

À Joseph G. Alfieri, William P. Kustas, John H. Prueger, Lawrence E. Hipps e Lynn McKee, cientistas responsáveis por calibrar e fazer a manutenção dos instrumentos de medições de dados climáticos.

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. G. M. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)-Advanced Trainig and User's Manual**. Kimberly: University of Idaho, 2002.
- ALVES, G. B. M.; LOVERDE-OLIVEIRA, S. M. Uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Distribuição e Vigor da Vegetação no Pantanal Norte. **Geografia**, Londrina, v. 29. n. 1. p. 175-190, 2020.
- BADR, G.; Hoogenboom, G.; Davenport, J.; Smithyman, J. Estimating Growing Season Length Using Vegetation Indices Based on Remote Sensing: A Case Study for Vineyards in Washington State. **Transactions of the ASABE**, [S. l.], v. 58, n. 3, p. 551-564, 2015.
- BERRA, E. F.; GAULTON, R.; BARR, S. Assessing spring phenology of a temperate woodland: A multiscale comparison of ground, unmanned aerial vehicle and Landsat satellite observations. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 223, n. 1, p. 229-242, 2019.
- BLEKOS, K.; TSAKAS, A.; XOURIS, C.; EVDOKIDIS, I.; ALEXANDROPOULOS, D.; ALEXAKOS, C.; KATAKIS, S.; MAKEDONAS, A.; THEOHARATOS, C.; LALOS, A. Analysis, Modeling and Multi-Spectral Sensing for the Predictive Management of Verticillium in Olive. **Journal of Sensor and Actuator Networks**. Basel, v. 10, n. 1, p. 15-35, 2021.

- CASTRO, A. I.; SIX, J.; PLANT, R. E.; PEÑA, J. M. Mapping Crop Calendar Events and Phenology-Related Metrics at the Parcel Level by Object-Based Image Analysis (OBIA) of MODIS-NDVI Time-Series: A Case Study in Central California. **Remote Sensing**, Basileia, v. 10, n. número do fascículo, p.1745-1765, 2018.
- CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.
- COSTA, L.; NUNES, L.; AMPATZIDIS, Y. A new visible band index (vNDVI) for estimating NDVI values on RGB images utilizing genetic algorithms. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v. 172, n. 1, p. 1-13, 2020.
- DASH, J. P.; PEARSE, G. D.; WATT, M. S. UAV Multispectral Imagery Can Complement Satellite Data for Monitoring Forest Health. **Remote Sens**, Basileia, v. 10, n. 8, p. 1216-final, 2018.
- FRANCISCO, C. N.; RUIZ, P. R. S.; ALMEIDA, C. M.; GRUBER, N. C.; ANJOS, C. S. Análise do impacto da correção atmosférica no cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada a partir de Imagem Landsat 8/OLI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 1, p. 76-86, 2020.
- HUBBARD, S. S.; SCHMUTZ, M.; BALDE, A.; FALCO, N.; PERUZZO, L.; DAFON, B.; LÉGER, E.; WU, Y. Estimation of soil classes and their relationship to grapevine vigor in a Bordeaux vineyard: advancing the practical joint use of electromagnetic induction (EMI) and NDVI datasets for precision viticulture. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 22, n., p. 1353-1376, 2021.
- JUNGES, A. H.; FONTANA, D. C.; ANZANELLO, R.; BREMM, C. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 5, p. 543-553, 2017.
- KHALIQ, A.; COMBA, L.; BIGLIA, A.; AIMONINO, D. R.; CHIABERGE, M.; GAY, P. Comparison of satellite and UAV-based multispectral imagery for vineyard variability assessment. **Remote Sensing**, Basileia, v. 11, n. 4, p. 436-453, 2019.
- KUSTAS, W. P. C.; ANDERSON, M.; ALFIERE, G.J.; KNIPPER, K.; TORRES-RUA, A.; PARRY, C. K.; NIETO, H.; AGAM, N.; WHITE, W. A.; GAO, F.; MCKEE, L.; PRUEGER, J. H.; HIPPS, L. E.; LOS, S.; ALSINA, M. M.; SANCHEZ, L.; SAMS, B.; DOKOOZLIAN, N.; MCKEE, M.; JONES, S.; YANG, Y.; WILSON, T. G.; LEI, F.; MCELDRONE, A.; HEITMAN, J. L.; HOWARD, A. M.; POST, K.; MELTRON, F.; HAIN, C. The grape remote sensing atmospheric profile and evapotranspiration experimente. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Boston, v. 99, n. 9, p. 1791-1812, 2018.
- LIU, Y.; HILL, M. J.; ZHANG, X.; WANG, Z.; RICHARDSON, A. D.; HUFKENS, K.; FILIPPA, G.; BALDOCCHI, D. D.; MA, S.; VERFAILLIE, J.; SCHAAF, C. B. Using data from Landsat, MODIS, VIIRS and PhenoCams to monitor the phenology of California

oak/grass savanna and open grassland across spatial scales. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 237-238, n. 1, p. 311-325, 2017.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Irrigation water management in arid regions of Middle East: Assessing spatio-temporal variation of actual evapotranspiration through remote sensing techniques and meteorological data. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 212, n. 1, p. 35-47, 2019.

MATESE, A.; DI GENNARO, S. F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. **Scientific Reports**, London, v. 11, n. 1, p. 2721-2733, 2021.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL (Colombia). **Estrategia de Política Pública para la Gestión Integral de Riesgos Agropecuarios en Colombia**. Revisión integral. Bogotá: Gobierno de Colombia, 2018. Disponível em: <https://www.minagricultura.gov.co/Documents/LIBRO%20ESTRATEGIA%20VERSION%20FINAL.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

FAO. **Plan de acción de la estrategia global para el mejoramiento de las estadísticas agropecuarias y rurales**. Roma: FAO: Banco Mundial: Comisión de Estadística de las Naciones Unidas, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3082s/i3082s.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2021.

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.

PLA, M.; BOTA, G.; DUANE, A.; BALAGUÉ, J.; CURCÓ, A.; GUTIÉRREZ, R.; BROTONS, L. Calibrating Sentinel-2 Imagery with Multispectral UAV Derived Information to Quantify Damages in Mediterranean Rice Crops Caused by Western Swamphen (Porphyrio porphyrio). **Drones**, Basel, v. 3, n. 2, p. 45-61, 2019.

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. **Proceedings** [...]. Washington: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

SAMPAIO, H. S.; BOURSCHEIDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. A. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. C. C. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020.

SUN, L.; GAO, F.; ANDERSON, M. C.; KUSTA, W. P.; AISINA, M. M.; SANCHEZ, L.; SAMS, B.; MCKEE, L.; DULANEY, W.; WHITE, W. A.; ALFIERE, J. G.; PRUEGER, J. H.; MELTON, F.; POST, K. Daily Mapping of 30 m LAI and NDVI for Grape Yield Prediction in California Vineyards. **Remote Sensing**, Basileia, v. 9, n. 4, p. 317-334, 2017.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **EarthExplorer**. [s. l.] USGS, 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 maio 2019.

ZHAO, L.; SHI, Y.; LIU, B.; HOVIS, C.; DUAN, Y.; SHI, Z. Finer Classification of Crops by Fusing UAV Images and Sentinel-2A Data. **Remote Sensing**. Basíleia, v. 11, n. 24, p. 3012-3028, 2019.