



ANÁLISE DE IMAGENS DO ESPECTRO VISÍVEL PARA ESTIMATIVA DOS ESTÁGIOS FENOLÓGICOS NA CULTURA DO FEIJÃO IRRIGADO

Carmiran Batista Turíbio¹

João José da Silva Júnior²

Mariana Alexandre de Lima Sales³

Marina Rolim Bilich Neumann⁴

Tiago Pereira da Silva Correia⁵

RESUMO

Objetivo: Analisar o comportamento espectro-temporal a partir dos índices de vegetação que utilizam a faixa visível do espectro eletromagnético, utilizando imagens adquiridas por um drone em comparação com imagens de satélite.

Referencial Teórico: O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas de maior relevância econômica no Brasil e aplicar tecnologias voltadas para agricultura de precisão têm tornado mais acessíveis e são essenciais para gestão e monitoramento de cultivos.

Método: As capturas de imagens de drone e satélite foram realizadas em sete momentos para a obtenção dos índices de vegetação, os produtos gerados são mapas temáticos de: GLI, VARI, NGRDI e VEG, que foram testados usando várias ferramentas estatísticas para garantir a confiabilidade e validade.

Resultados e Discussão: para os conjuntos de dados satélite e drone, ambos apresentaram os mesmos comportamentos, respectivamente de (p-value = 2.2e-16) e (p-value < 2.2e-16), isso nos testes de normalidade a um nível de significância estatística de 5%, indicando pressupostos de normalidade.

Implicações da Pesquisa: Esses resultados evidenciam o grande potencial do uso de imagens do espectro visível obtidas por VANT e Sentinel-2 para o gerenciamento da colheita, considerando a variabilidade espacial de maturação do feijão.

Originalidade/Valor: O uso da agricultura de precisão para estimativa dos estágios fenológicos otimiza o uso de água, fertilizantes e defensivos, influenciando na eficiência do uso dos recursos e na rentabilidade da cultura.

Palavras-chave: Índice de Vegetação, *Phaseolus vulgaris* L., Drone, VANT e Agricultura de Precisão.

¹ Universidade de Brasília (UNB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: carmiranturibio@gmail.com

² Universidade de Brasília (UNB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: jjsjunior@unb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7751-0488>

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília (IFB), Brasília, Distrito Federal, Brasil.

E-mail: mal_sales@hotmail.com Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1653-9284>

⁴ Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: marinabilich@unb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6808-3285>

⁵ Universidade de Brasília (UnB), Brasília, Distrito Federal, Brasil. E-mail: tiagocorreia@unb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6022-7280>



VISIBLE SPECTRUM IMAGE ANALYSIS FOR ESTIMATION OF PHENOLOGICAL STAGES IN IRRIGATED BEAN CROPPING

ABSTRACT

Objective: Analyze the spectro-temporal behavior based on vegetation indices based on the visible portion of the electromagnetic spectrum, using images acquired by a drone in comparison with satellite images.

Theoretical Framework: Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are one of the most economically important crops in Brazil and applying technologies aimed at precision agriculture have been more accessible and are fundamental tools for crop management and monitoring.

Method: Drone and satellite image captures were carried out in seven moments to obtain vegetation indices, the products generated are thematic maps of: GLI, VARI, NGRDI and VEG, which were tested using various statistical tools to ensure reliability and validity.

Results and Discussion: In normality tests at a level of statistical significance of 5% for the satellite and drone data sets, both showed the same behavior, in all drone data indicated normality assumptions ($p\text{-value} = 2.2\text{e-}16$) and the satellite data followed the same behavior, ($p\text{-value} < 2.2\text{e-}16$).

Research Implications: These results highlight the great potential of using visible spectrum images from UAVs and Sentinel-2 for harvest management due to the spatial variability of bean maturation.

Originality/Value: The use of precision agriculture to estimate phenological stages optimizes the use of water, fertilizers and pesticides, influencing the efficiency of resource use and the profitability of the crop.

Keywords: Vegetation Index, *Phaseolus vulgaris* L., Drone; UAV and Precision Agriculture.

ANÁLISIS DE IMAGEN DEL ESPECTRO VISIBLE PARA LA ESTIMACIÓN DE ETAPAS FENOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE FRIJOL DE RIEGO

RESUMEN

Objetivo: Analizar el comportamiento espectro-temporal a partir de índices de vegetación basados en la porción visible del espectro electromagnético, utilizando imágenes adquiridas por un dron en comparación con imágenes satelitales.

Marco Teórico: El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica en Brasil y la aplicación de tecnologías orientadas a la agricultura de precisión ha sido más accesible y son herramientas fundamentales para el manejo y seguimiento del cultivo.

Método: Se realizaron capturas de imágenes con drones y satélite en siete momentos para obtener índices de vegetación, los productos generados son mapas temáticos de: GLI, VARI, NGRDI y VEG, que se probaron utilizando diversas herramientas estadísticas para garantizar la confiabilidad y validez.

Resultados y Discusión: En las pruebas de normalidad a un nivel de significancia estadística del 5% para los conjuntos de datos de satélite y drones, ambos mostraron el mismo comportamiento, en todos los datos de drones indicaron supuestos de normalidad (valor $p = 2,2\text{e-}16$) y los datos de satélite siguieron el mismo comportamiento, (valor $p < 2,2\text{e-}16$).

Implicaciones de la investigación: Estos resultados resaltan el gran potencial del uso de imágenes del espectro visible de vehículos aéreos no tripulados y Sentinel-2 para el manejo de la cosecha debido a la variabilidad espacial de la maduración del frijol.

Originalidad/Valor: El uso de la agricultura de precisión para estimar estados fenológicos optimiza el uso de agua, fertilizantes y pesticidas, influyendo en la eficiencia del uso de los recursos y la rentabilidad del cultivo.

Palabras clave: Índice de Vegetación, *Phaseolus vulgaris* L., Drone, UAV y Agricultura de Precisión.



RGSA adota a Licença de Atribuição CC BY do Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1 INTRODUÇÃO

No mundo as práticas agrícolas são modificadas constantemente, com isso, a agricultura de precisão (PA), atrelada juntamente com a inovação tecnológica, tornou-se indispensável ao agricultor. Melhorando as deficiências e destacando as potencialidades da produção agrícola, além de auxiliar nas tomadas de decisões e consequentemente contribui para fomentar a produtividade e diminuir os impactos ambientais geradas pela produção agrícola.

Mediante a evolução no setor tecnológico, o veículo aéreo não tripulado (VANT) vêm conquistando cada vez mais espaço na agricultura. As imagens coletadas são analisadas em softwares auxiliando o gerenciamento dos mais diversos aspectos de uma cultura, pois fornecem dados quantitativos e qualitativos para mensurar a eficiência da semeadura/plantio, quantificar áreas com falhas diversas, detectar doenças e/ou pragas, bem como excesso/ausência de irrigação.

A análise do estágio fenológico da cultura pode ser adquirida através do cálculo de índices de vegetação a partir das imagens visíveis composta por bandas RGB. Os índices de vegetação podem ser utilizados para determinar parâmetros de crescimento como índice de área foliar, biomassa vegetal, produtividade da cultura, nível de estresse hídrico, além de uma gama de parâmetros e características da vegetação.

Assim, o objetivo deste estudo foi examinar a relação entre os indicadores de vegetação do feijoeiro obtidos por imagens de drone e de satélite, visando avaliar a variabilidade espacial dos resultados. Isso auxilia na tomada de decisão durante a colheita, considerando a estimativa dos estágios fenológicos, como a fase de enchimento das vagens (R8) e a maturação (R9) da cultura do feijão irrigado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

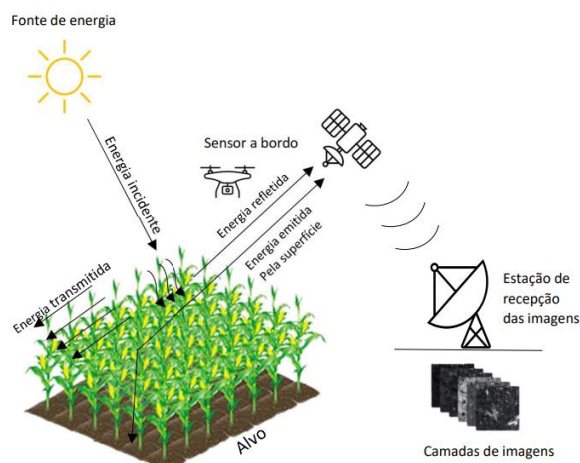
O sensoriamento remoto (SR) surgiu na década de 1960 e se refere à aquisição de dados sobre objetos sem contato direto, uma prática que tem sido continuamente aperfeiçoada (FUSSELL et al., 1986; JENSEN, 2007). Esta técnica é utilizada para obter informações para diversas finalidades. O processo de obtenção de imagens por SR envolve a energia do sol



incidindo sobre um alvo, como um talhão de plantio, onde parte dessa energia é refletida e captada por sensores em satélites ou drones. Esses dados são então recebidos por uma estação de dados e distribuídos para bancos de dados (Figura 1).

Figura 1

Esquema do Sensoriamento Remoto (SR).



Na atualidade existe inúmeros satélites na órbita da Terra, e cada um exercer uma função de fonte de captação de dados das mais diversas áreas de conhecimento, atribuindo positivamente com a compreensão das características geofísicas do uso e ocupação do solo, qualidade ambiental, previsão meteorológicas e entre outras.

O uso de equipamentos de sensoriamento remoto é essencial na agricultura de precisão, permitindo o gerenciamento da variabilidade dos solos e culturas ao longo do espaço e tempo (COELHO, 2005; LAMPARELLI, 2016). Este sistema de gestão está diretamente ligado ao retorno econômico e sustentável (BRASIL, 2012), contribuindo para uma produção mais sustentável (THOMPSON et al., 2019). Assim, a aceitação pelos agricultores tem sido positiva ao longo dos anos, com crescente confiança na tecnologia.

Como já visto, a principal base para o SR é a relação entre o alvo e a radiação eletromagnética (REM). Havendo uma interação das propriedades físicas, químicas e biológicas oriunda da fonte de energia com o alvo e posteriormente os dados são transformados, aptos a serem analisados e interpretados (LIU, 2006; NOVO, 2010).

Tais dados são coletados remotamente por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), conhecidos como drones, termo derivado do inglês Unmanned Aerial Vehicles (UAV). O mercado oferece uma variedade de modelos de VANTs com características e finalidades específicas, sendo uma tecnologia multidisciplinar. Segundo Alves Júnior (2015), os VANTs



são classificados em cinco categorias: asa fixa, asa rotativa, balões de ar, flapping-wing e híbridos.

Nos drones com asa rotativa assim como nos drones de asas fixas é possível planejar voos, executar missões automáticas e gerenciar dados de voo usando diferentes aplicativos para planejamento de voo os quais permitem o acesso as informações coletadas por uma câmera RGB ou uma câmera multiespectral.

As câmeras que operam na faixa do visível são conhecidas como sensores RGB, referindo-se às bandas red (vermelha), green (verde) e blue (azul) (MARQUES FILHO e VIEIRA NETO, 1999). As imagens RGB são coloridas pela fusão dessas três bandas (PARANHOS FILHO et al., 2008). De acordo com Furlanetto et al. (2017), os sensores multiespectrais são os mais comumente utilizados na agricultura.

Já os mais novos, os multiespectrais, combinando câmeras de alta resolução no visível com sensores multiespectrais individuais, proporcionando alta resolução espacial e espectral e medições espectrais precisas (SZABÓ et al., 2018). Normalmente, possuem bandas como Red-Edge (725nm), Near Infrared (850nm), Red (660nm), Green (550nm) e Blue (450nm), e incluem GPS para georreferenciamento das imagens.

As câmeras termais possuem um sensor térmico radiométrico com resolução que vai de 160x120 até 620 x 540 e faixa de temperatura de -10°C a +400°C permitem imagens térmicas e RGB combinadas na visualização térmica (sincronização temporal de imagens térmicas e RGB).

Após a coleta de dados, estes podem ser analisados por diversos espectros, sendo os índices de vegetação de grande importância agrícola. Os índices de vegetação são operações aritméticas aplicadas às bandas espectrais das imagens de SR, com o objetivo de realçar a presença ou vigor da vegetação, verificando a interação da planta com valores diferentes dos comprimentos de onda (LIU, 2006; PONZONI, 2001; BOHRER et al., 2009 e SHIMABUKURO, 2010).

A folha é o principal elemento da planta que frequentemente tem interação com a energia eletromagnética, em que a refletância espectral resultará em diferentes pigmentos, fundamental para estudos de índices de vegetação (PONZONI, 2001; AMRI et al., 2011). Entre os índices importantes estão:

- *Green Leaf Index (GLI)*: Visa determinar a degradação da vegetação através de imagens aéreas. É baseado na diferença normalizada das reflectâncias espectrais do vermelho, verde e azul (LOUHAICHI et al., 2001).



- *Normalized Green Red Difference Index* (NGRDI): É amplamente utilizado para estimar a fração de vegetação, biomassa verde e como indicador de fenologias vegetais. Utiliza da diferença do verde e do vermelho e foi um índice apresentado por Tucker (1979).
- *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI): É conhecido por sua baixa sensibilidade aos efeitos atmosféricos e por fornecer resultados precisos da vegetação. Proposto por Gitelson et al. (2002) e sua fórmula utiliza as faixas espectrais do vermelho, verde e azul, com a subtração da banda azul no denominador para minimizar os efeitos atmosféricos.

Vegetative (VEG): Visa a identificação da existência de vegetação ou de solo exposto. Proposto por Marchant e Onyango (2002), em que utiliza as faixas espectrais do vermelho, verde e azul.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado na Fazenda Buenos Aires, localizada no município de Luziânia, estado de Goiás, região Centro-Oeste do Brasil. Situada sob as coordenadas geográficas 47°52'55''W ;16°19'00''S e 930 metros e distância 70 km de Brasília-DF. De acordo com a classificação climática de Köppen (1972), a região é do tipo Cwa, caracterizada por duas estações bem definidas: uma estação seca, que começa no final de abril e vai até setembro.

A área de interesse estava sendo cultivadas com feijão (*Phaseolus vulgaris*) e a semeadura foi realizada no dia 26/06/2021. A Tabela 1 apresenta as datas de coletas, horários de capturas e dia juliano (DJ) do ano 2021, assim como os dados de processamento das imagens coletadas. A área total do pivô é de 50 ha.

Tabela 1

Datas e horários referentes aos voos (A) e Tempo de processamento (B).

Voo	A				B			
	Data	Dia Juliano	Horário de captura	Minutos de voo	Quantidade de fotos	Dimensões imagem	Tempo para Processamento PIX4Dmapper	Área (ha)
1°	02/09/2021	245	12:27 a 12:45	18	253	3264x2448	46m:48s	5,92
2°	07/09/2021	250	12:31 a 12:50	19	269	3264x2448	01h:07m:25s	5,50
3°	11/09/2021	254	12:29 a 12:49	20	283	3264x2448	01h:03m:16s	5,13
4°	18/09/2021	261	12:42 a 13:01	19	228	3264x2448	41m:32s	4,41

O Veículos Aéreo Não Tripulado (VANT) utilizado no estudo foi um multirrotor modelo Anafi Thermal Parrot. Ele possui duas câmeras a FLIR Lepton 3.5 com sensor infravermelho,



capaz de identificar temperaturas entre -10° e $+400^{\circ}\text{C}$, sendo possível definir a temperatura absoluta de cada pixel. E outro sensor para imagens visíveis (RGB): 1/2.4" 21MP CMOS. Combina recursos de gravação de vídeo 4K HD Imagens térmicas e RGB na visualização térmica. Em que a controladora foi conectada a um aparelho celular possibilitando a criação do plano de voo em campo.

O plano de voo foi realizado pelo aplicativo Pix4D, com seguintes configurações: altura com 60 metros acima do nível do solo, velocidade de 1,5 m/s e a sobreposição das imagens foram definidas para 90% (Tabela 1).

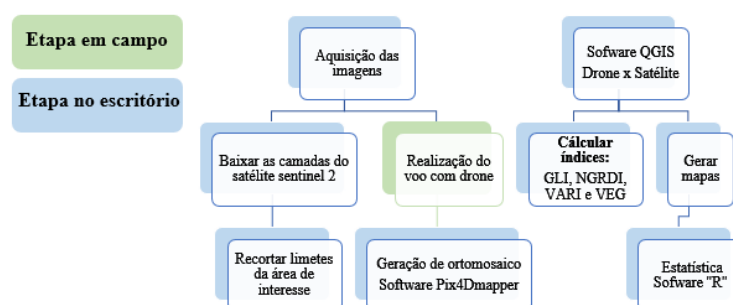
Para a obtenção dos índices de vegetação com os dados coletados pelo drone, foram utilizadas imagens coletadas nas datas acima, porém as datas de revisitação do satélite na área de interesse ocorreram com no máximo um dia, a mais ou a menos, de diferença, sendo as respectivas datas: 01, 06, 11 e 19/09.

Foram obtidas imagens do satélite Sentinel 2 disponibilizadas pelo USGS utilizou-se as três bandas B2, B3 e B4, que correspondem aproximadamente à luz azul, verde e vermelha, respectivamente, que são normalmente usadas para gerar produtos de "cor verdadeira", mapeando diretamente essas refletâncias de banda para valores RGB de pixel.

Para ilustrar e compreender a dinâmica de campo e escritório para a obtenção dos índices de vegetação, abaixo (Figura 2) está disposto um fluxograma.

Figura 2

Fluxograma das etapas de campo e escritório visando à obtenção dos valores dos índices GLI, VARI, NGRDI e VEG.



Para os cálculos, no QGIS 3.10.12, na aba raster foi selecionada a ferramenta “calculadora raster”, as bandas de cada ortomosaico foram separadas da camada alfa, assim formulamos as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A Tabela 2 apresenta cada equação para obtenção do índice de vegetação, com suas respectivas referências.

**Tabela 2***Descrição de índices de vegetação utilizados.*

Equação	Nome	Sigla	Equação	Referência
1	Green Leaf Index	GLI	$GLI = \frac{2 * G - R - B}{2 * G + R + B}$	(LOUHAICHI. M. et al., 2001)
2	Normalized Green-Red Difference Index	NGRDI	$NGRDI = \frac{G-R}{G+R}$	(TUCKE. 1979)
3	Visible Atmospherically Resistant Index	VARI	$VARI = \frac{G-R}{G+R-B}$	(GITELSON et al., 2002)
4	Vegetative	VEG	$VEG = \frac{G}{RaB(1-a)^0}$	(MARCHANT et al., 2002)

Em que: GLI - Índice de Vegetação de Folha Verde; NGRDI - índice de vegetação da diferença normalizada do verde e do Vermelho; VARI - índice de vegetação com resistência atmosférica ao visível; B: Valor de refletância na faixa espectral do azul; G: Valor de refletância na faixa espectral do verde; R: Valor de refletância na faixa espectral do Vermelho; B: Valor de reflectância na faixa espectral do azul e a: Valor igual a 0.667.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise estatística pode ser observada nas Tabela 3 e 4, respectivamente para os dados de Vant e satélite, na qual é notável um padrão de comportamento das imagens do drone nas variações dos índices de vegetação GLI, NGRDI e VARI quando comparados com o VEG. Contudo, menores amplitudes são identificadas no GLI, NGRDI e VARI, enquanto no VEG essas variações se apresentam mais elevadas. Além de ser possível verificar que nos dados do Vant o NGRDI ocorre o mesmo padrão de comportamento dos valores mínimos, máximos e médios, tornando bem similares ao VARI. Já os dados do satélite sentinel-2, os comportamentos dos índices de vegetação são bem próximos no NGRDI, entretanto os resultados obtidos no índice de VEG são bem distintos.

Tabela 3*Descrição de índices de vegetação utilizados dos dados de Vant. Estatística descritiva dos índices de vegetação do feijão (Phaseolus vulgaris).*

-		Vant					
Índice	Análise	Mín.	Máx.	Int.	Méd.	Des P.	Soma Qd.
GLI	1	0.095	0.992	0.896	0.465	0.304	54.708
	2	0.095	0.992	0.896	0.459	0.304	50.752
	3	0.131	1.976	1.845	0.824	0.649	213.436
	4	0.095	0.992	0.896	0.471	0.314	43.828
NGRDI	1	0.095	0.992	0.896	0.465	0.304	54.708
	2	-0.243	0.992	1.236	0.203	0.426	99.603
	3	-0.243	0.992	1.236	0.219	0.435	95.835
	4	-0.243	0.992	1.236	0.221	0.443	7.083
VARI	1	-0.244	0.996	1.240	0.211	0.430	109.342
	2	-0.244	0.996	1.240	0.204	0.428	100.339
	3	-0.244	0.996	1.240	0.220	0.436	96.547
	4	-0.244	0.996	1.240	0.222	0.445	87.731



VEG	1	1.281	84.915	83.633	18.797	33.182	65.338.811.568
	2	1.281	84.915	83.633	18.304	32.846	590.148.422
	3	1.281	84.915	83.633	19.613	33.812	578.518.088
	4	1.281	84.915	83.633	20.387	34.385	523781.08

Tabela 4

Descrição de índices de vegetação utilizados dos dados de satélite. Estatística descritiva dos índices de vegetação do feijão (Phaseolus vulgaris).

-		SENTINEL 2					
Índice	Análise	Mín.	Máx.	Int.	Méd.	DesP.	SomaQd.
GLI	1	-0.018	0.453	0.472	0.309	0.108	7.528
	2	-0.050	0.396	0.447	0.199	0.145	14.207
	3	-0.045	0.410	0.455	0.201	0.135	10.336
	4	0.034	0.407	0.373	0.232	0.108	5.608
NGRDI	1	-0.176	0.433	0.609	0.246	0.151	14.653
	2	-0.221	0.392	0.613	0.117	0.199	26.619
	3	-0.224	0.385	0.610	0.100	0.180	18.282
	4	-0.103	0.376	0.480	0.138	0.140	9.461
VARI	1	-0.240	0.598	0.838	0.341	0.209	28.068
	2	-0.295	0.594	0.889	0.171	0.282	53.264
	3	-0.288	0.549	0.837	0.141	0.248	34.699
	4	-0.142	0.529	0.671	0.190	0.194	18.042
VEG	1	-0.631	-0.237	0.393	-0.476	0.092	5.313
	2	-0.580	-0.220	0.359	-0.403	0.112	8.263
	3	-0.607	-0.231	0.376	-0.407	0.107	6.254
	4	-0.614	-0.259	0.355	-0.425	0.096	4.427

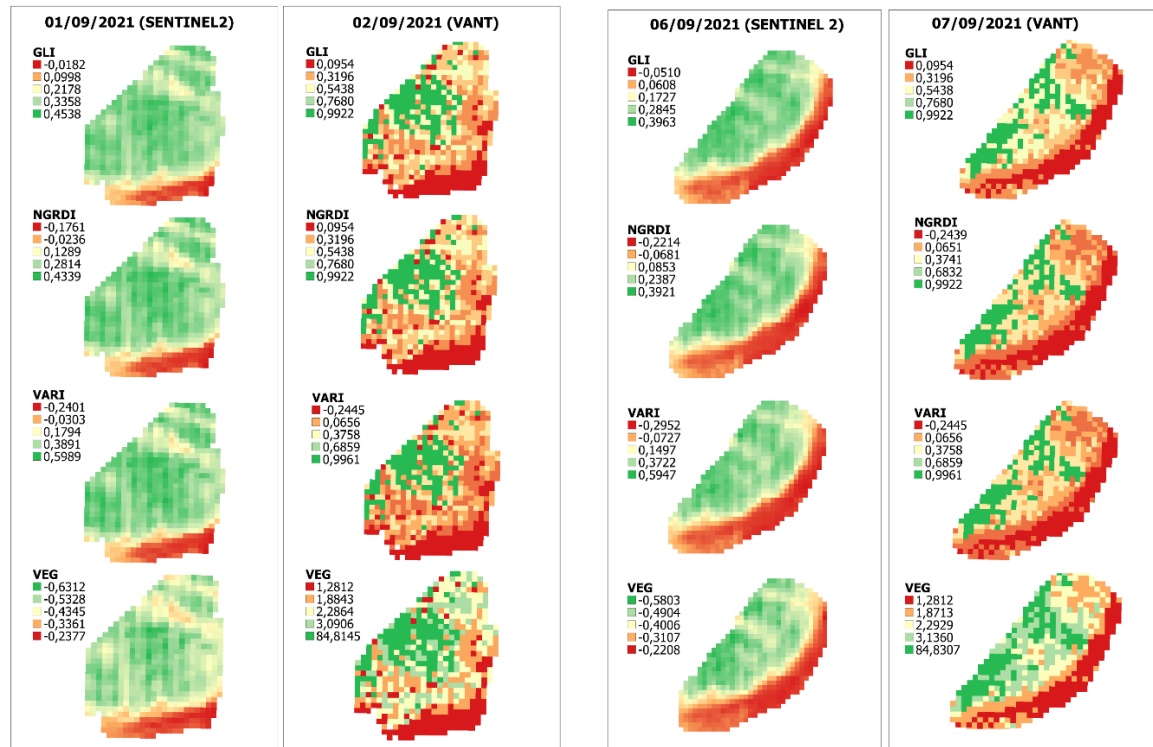
Em todos os voos realizados com Drone foi possível gerar ortomosaicos aptos aos cálculos de índices de vegetação (GLI, NGRDI, VARI e VEG) sobre o cultivo de feijão irrigado por pivô central. Todos os aerolevantamentos obtiveram dados com qualidade suficientes para mosaicagem, sem a necessidade de repetições de voos.

A Figura 3 mostra os ortomosaicos e seus respectivos índices dos primeiros voos. De maneira visual podemos notar que há semelhança na representação dos mapas oriundos de imagens do satélite em comparação as imagens de drones.



Figura 3

Mapas dos índices de vegetação do feijão (Phaseolus vulgaris) aos 68 e 69 (A) e 73 e 74 (B) após a semeadura.



*Sistema de referência de coordenadas (SRC); EPSG: 4326-WGS 84.

Em que: Solo exposto (vermelho); Estágio de maturação R9 (laranja); Estágio de enchimento das vargens R8 (amarelo); Folha verde (verde claro) e Folha verde intenso (verde escuro).

A imagem é parte do pivô, aproximadamente 10% da área. O GLI, NGRDI e VARI se caracterizam por tudo que for próximo de 1 é folha verde intenso e todos os comportamentos que se aproxima de -1 é característica de solo exposto, assim, a borda do mapa é de solo exposto, são estradas que interligam outras áreas de cultivo da propriedade, e a região nordeste dos mapas, em sentido ao centro da área,, que se apresenta com a cor mais verde e verde intenso, caracterizada pela refletância e presença de clorofila, sendo um indicativo da quantidade de nitrogênio presente nas folhas (WINDER, 2018).

De acordo Santos et al., (2020), o índice GLI possibilitou visualizar claramente as áreas de maior vigor e áreas críticas, os menores valores reflete o índice de verde, logo áreas de pastagem muito secas são destacados pelo laranja. Com isso, pode ser afirmar que com o uso desta metodologia é possível realizar o acompanhamento da cultura, auxiliando nas tomadas de decisões da colheita, estimando-se o percentual de área em ponto de colheita e possibilitando uma análise da variabilidade espacial da senescência da cultura.



A primeira avaliação da cultura foi realizada aos 68 e 69 dias após a semeadura (DAS), quando a planta estava no estágio reprodutivo R8, representado pela coloração amarela, pois nesta fase há o surgimento e início do enchimento das vagens (FANCELLI et al., 2007; DIEL, 2010). Caracterizado pelo ponto de maturação fisiológica das plantas, em que ocorre a senescência das folhas mais velhas, proveniente da degradação dos cloroplastos (MEYER et al., 2013). Esse estágio foi observado com maior evidência nas imagens de drone.

Na segunda coleta de dados, presente no mapa VANT, notamos uma crescente na área de tons amarelos nos dados, expressão da classe R9, distinguindo da representação do mapa do sentinel-2, que apresenta a classe R8 em sua bordadura, porém, conforme se aproxima do centro há predominância de verde.

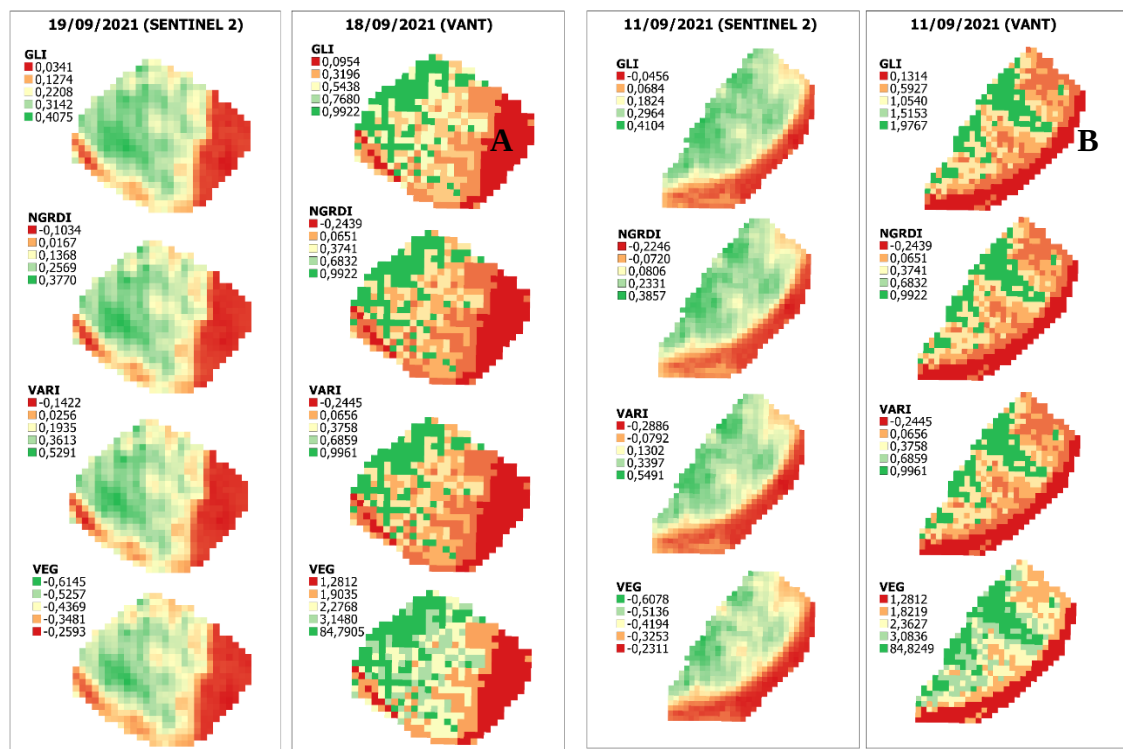
Resultando em: o VEG dos dados de VANT e sentinel-2 apresentaram maior similaridade dentre os índices, em que neste caso, sentinel-2 se enquadrou em R9. Os valores de NGRDI e VARI permanece padrão para imagens do VANT, além disso o percentual VEG possui o mesmo comportamento do primeiro voo. O índice VARI correlacionado com GLI apresenta boa precisão experimental (OLIVEIRA et al., 2019). Na pesquisa de Silva et al. (2022), os resultados foram bastante semelhantes em todos os índices (GLI-TGI-VEG), porém, os mais coerentes com a imagem RGB vieram do VEG.

A aplicabilidade de estudos no monitoramento da cobertura vegetal pode ser respostas há redução da taxa fotossintética ou alterações na estrutura do dossel da planta (MENESES, 2001; ZANZARINI et al., 2013), sendo que o NGRI tem correlação do valor do índice com a biomassa verde (WAN et al., 2018). E o índice VEG apresenta sensibilidade quando a coloração da vegetação, conseguindo assim diagnosticar onde havia áreas debilitadas e áreas com vegetação muito sadia (SILVA et al., 2022).

Na Figura 4 mostra os mapas e seus respectivos índices dos últimos voos.

**Figura 4**

Mapas dos índices de vegetação do feijão (*Phaseolus vulgaris*) aos 78 (A) e 84 e 86 (B) dias após a semeadura.



*Sistema de referência de coordenadas (SRC); EPSG: 4326-WGS 84.

Em que: Solo exposto (vermelho); Estágio de maturação R9 (laranja); Estágio de enchimento das vargens R8 (amarelo); Folha verde (verde claro) e Folha verde intenso (verde escuro).

A terceira repetição há predominância da fase R8 (amarelo). Na extremidade norte da área podemos observar que aos 78 dias de semeadura a vegetação está em transição da fase R8 para R9, dessa forma a característica que traz a coloração expressa em amarelo para laranja é característico do início amarelecimento das folhas em virtude da morte da nossa cultura anual. Sendo assim, a fase R9 é a onde acontece a maturação das vargens, em razão disso ocorre a dessecação das folhas e inclusive das vargens, onde traz uma resposta refletiva devido a presença de maior exposição do solo e a cor que a planta em estado de senescência.

Na quarta repetição, sentinel-2 e Vant, ao leste da área notamos em destaque que estava em fase de colheita. Por se tratar de uma área com alto declive, a colheita mecanizada é inviável, e com isso a técnica utilizada é de arranque manual parceladamente em conformidade com a disponibilidade de mão de obra dos colaboradores, porém a colheita ocorre no sentido leste a oeste, acompanhando por sua vez a linhas que apresentam ponto de maturação R9.



A Embrapa em 2018 já apontava a aplicabilidade do uso de VANT no imageamento e aplicabilidade nos índices de vegetação GLI e VARI, com enorme potencial para monitoramento e obtenção de parâmetros agronômicos ao longo do ciclo de um plantio do milho.

Vantagem da aplicação da metodologia se consiste em realizar um sobrevoo na área de interesse, por cerca de 20 a 30 minutos, posteriormente será necessário de 40 minutos a 2 horas para realização do ortomosaico da área. Essa técnica por sua vez traz ao produtor uma resposta imediata de qual estado real do cultivo em específicas áreas de sua propriedade. Bezerra et al. (2020) o sensoriamento remoto é um forte aliado dos estudos ambientais principalmente as áreas que não se dispõem de dados de superfície suficientes.

Diante o exposto, podemos utilizar a ferramenta como indicadora de ponto de maturação em razão das respostas do espectro do cultivo. Com isso o auxílio do monitoramento da fase final do cultivo pode ser favorável para tomada de decisões da escolha do momento ideal a se iniciar a colheita, otimizando na gestão do tempo e estimativa da mão de obra de hora homem, como no caso da propriedade em estudo.

5 CONCLUSÃO

O estudo permitiu concluir que, o Vant possui a vantagem de imagens maior acurácia com a coloração simbolizada nos mapas, suprir as deficiências de repetitividade e limitações espaciais.

Em relação aos índices, o GLI (satélite) foi considerado o índice que apresentou os melhores resultados, enquanto o VARI teve valores inverso, representando maiores valores para solo exposto e menores valores para folha verde intenso. Enquanto o VEG (Vant) apresentou bastante sensibilidade aos comportamentos típicos de cada estágio fenológico, apresentando, assim, grande potencial de aplicação para o monitoramento vegetal.

REFERÊNCIAS

- Alves Júnior, L. R. (2015). *Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um Veículo Aéreo Não Tripulado em áreas urbanas e rurais no Estado de Goiás*. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás.
- Amri, R.; Zribi, M.; Lili-Chabaane, Z.; Duchemin, B.; Gruhier, C.; Chehbouni, A. (2011). Analysis of vegetation behavior in a North African semi-arid region. Using SPOTVEGETATION NDVI data. *Remote Sensing*. v. 3 (n.12). p. 2568–2590.



- Bezerra, A. C.; Silva, J. L. B.; Oliveira SILVA, D. A.; Batista, P. H. D.; Pinheiro, L. C.; Lopes, P. M. O. e Moura, G. B. A. (2020). Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13(1), 286–301.
- Bohrer, C. B. A.; Dantas, H. G. R.; Cronemberger, F. M.; Vicens, R. S., E ANDRADE, S. F. (2009). Mapeamento da vegetação e do uso do solo no Centro de Diversidade Vegetal de Cabo Frio. Rio de Janeiro. Brazil. *Rodriguésia*. v. 60. (n.1). p. 1–23.
- BRASIL. (2012). *Portaria nº 852. de 21 de setembro de 2012*. Diário Oficial da União. seção 2.
- Coelho. A. M. (2005). *Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas*. Minas Gerais. Embrapa Milho e Sorgo. v. 1518 (n.4277). p. 7-12.
- Diel, D. (2010). Nitrogênio no desenvolvimento de linhagens de feijoeiro na região de Sinop – MT. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso.
- Fancelli, A. L.; Dourado Neto, D. (2007). *Produção de feijão*. Piracicaba: Livroceres. IPNI.
- Furlanetto, R. H.; Nanni, M. R.; Crusiol, L. G. T.; Silva, G. F. C.; Oliveira JR, A. (2017). Potencial de utilização de sensores multiespectral e hiperespectral no estudo de diferentes alvos agrícolas. In: *Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, 12. p. 146-154. Embrapa Soja.
- Fussell. J.; Rundquist. D. C.; Harrington-JR. J. A. (1986). On defining remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v. 52 (n. 9). p. 1507–1511.
- Gaida, W.; Breunig, F. M.; Galvão, L. S. e Ponzoni, F. J. (2020). Correção Atmosférica em Sensoriamento Remoto: Uma Revisão. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13(1), 229–248. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.1.p229-248>
- GELLIOUS. C. *Attic nights*. Book 10 (1927).
- Gitelson, A. A.; Kayfnabm Y. J.; Stark, R. e Rundquist, D. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, v. 80 (n.1). p. 76–87.
- JENSEN JR. (2007). *Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective*. 2. ed. Upper Saddle River: PrenticeHall. 592p.
- Köppen, W. P. (1923). *Klimate der erde: grundriss der klimakunde*. Berlin: Justus Perthes.
- Lamparelli, R. A. C. (2016). *Agricultura de precisão*. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: Acesso em: 28 jan. 2023.
- Liu. W. T. H. (2006). *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. Campo Grande: UNIDERP. 908 p.
- Louhaichi, M.; Borman, M. M.; Johnson, D. E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto International*, v. 16 (n. 1). p. 65–70.
- Marques Filho, O.; Vieira Neto, H. (1999). *Processamento digital de imagens*. Riode Janeiro:



BRASPORT. 406 p.

- Meneses, P. R. (2001). Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESSES, P. R.; NETJ. DA S. M. (Eds.). *Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, p. 15–40.
- Novo, E. M. L. M. (2010). *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher. p. 387.
- Oliveira, J. C.; Rocha, J. R. A. S. C.; Silva, M. M.; Magalhaes JR, W. C. P.; Andrade, R. G.; Machado, J. C. (2019). *Fenotipagem de alto rendimento em capim-elefante: perspectivas de uso de índices de vegetação obtidos de bandas espectrais do visível na seleção de genótipos superiores*. Embrapa.
- Lopes Dos Santos, F.; Teixeira Martins, M.; Souza Lopes, C.; Ivo Pfeifer, M.; Paes Marangon, G. (2020). *Avaliação de índices de vegetação da faixa do visível (RBG) calculados a partir de imagens de VANT em um pomar de oliveiras*. II Simposio Português de Pós-graduação em Ciências Florestais.
- Shimabukuro, Y. E.; Maeda, E. E.; Formaggio, A. R. (2009). Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. *Revista Ceres*, v. 56, n. 4, p. 399–409.
- Silva, M. H.; Elias, A. R.; Rosário, L. L. (2022). Análise da cultura da soja a partir de índices de vegetação (ExG – GLI – TGI – VEG) advindos de imagens RGB obtidas com ARP. *Revista Brasileira de Geomática*, v. 10 (n.2). p. 140.
- Szabó, G.; Bertalan, L.; Barkóczi, N.; Kovács, Z.; Burai, P. Lénárt, C. (2018). Zooming on aerial survey. In: CASAGRANDE, G.; SIK, A.; SZABÓ, G. (Ed.). *Small flying drones: applications for geographic*. Zürich: Springer International Publishing. p. 91-126.
- Thompson, N. M.; Bir, C.; Widmar, D. A. e Mintert, J. R. (2019). Farmer perceptions of precision agriculture technology benefits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*. 51(1). 142–163.
- Wan, L.; LI, Y.; Cen, H.; Zhu, J.; Yin, W.; Wu, W.; Zhu, H.; Sun, D.; Zhou, W. e HE, Y. (2018). Combining UAV-Based Vegetation Indices and Image Classification to Estimate Flower Number in Oilseed Rape. *Remote Sensing*, v. 10 (n.9), p. 1484.
- Winder, A. R. S. (2018). *Lâminas De Irrigação Na Cultura Da Rúcula No Cerrado*. Tese de Doutorado, Dissertação (Graduação em Mestrado Profissional em Irrigação no Cerrado), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.