UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

INVESTIGAÇÃO DAS SEMELHANÇAS ENTRE MAPAS DE NDVI DE PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO

PAULA VITORIA CRISPIM FRANCO

DOURADOS

MATO GROSSO DO SUL

2024

INVESTIGAÇÃO DAS SEMELHANÇAS ENTRE MAPAS DE NDVI DE PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO

PAULA VITORIA CRISPIM FRANCO

Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Dourados

Mato Grosso do Sul

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

F825i Franco, Paula Vitoria Crispim
INVESTIGAÇÃO DAS SEMELHANÇAS ENTRE MAPAS DE NDVI DE PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO [recurso eletrônico] / Paula Vitoria Crispim Franco. -- 2024.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Jorge Wilson Cortez.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2024.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio

1. Tecnologia. 2. Agricultura de Precisão. 3. Índice de Vegetação. I. Cortez, Jorge Wilson. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

INVESTIGAÇÃO DAS SEMELHANÇAS ENTRE MAPAS DE NDVI DE PLATAFORMAS DE SENSORIAMENTO

Paula Vitoria Crispim Franco

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 21 de junho de 2024

Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
Orientador – UFGD/FCA

Profa. Dra. Anamari Viegas de Araújo Motomiya
UFGD/FCA

Prof. Dr. Luiz Carlos Ferreira de Souza
UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me permitido ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo dessa jornada, que me fizeram alcançar os meus objetivos.

À minha querida vó Natália Fiais Crispim, por todo o amor.

Aos meus pais Emília e Hugo, que não mediram esforços para me ajudar em todos os momentos.

À minha família, o meu mais sincero obrigado, por toda compreensão, e principalmente por serem a minha base.

Ao meu amor Danilo, que sempre foi o meu porto seguro nesta caminhada, me dando apoio e carinho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez pela maravilhosa orientação e paciência, me guiando na realização deste trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados, por me proporcionar um ambiente acadêmico estimulante, com professores qualificados e oportunidades de crescimento.

À Fundação de Apoio ao Desenvolvimento de Ensino, Ciência e Tecnologia do MS FUNDECT, uma vez que este trabalho recebeu apoio da FUNDECT, no âmbito da Chamada Especial Fundect 07/2023 – PIBIC-Fundect.

FRANCO, P. V. C. **Investigação das semelhanças entre mapas de NDVI de plataformas de sensoriamento.** 2024. 26f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso), Bacharelado em Engenharia Agrícola – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

RESUMO

O uso do sensoriamento remoto para observação da Terra com o uso de satélites teve início na década de 70 com o lançamento do Landsat. Desde então, novas constelações e plataformas foram lançadas permitindo uma diversidade de imagens da superfície da Terra. Desse modo, objetivou-se avaliar os dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da soja da safra de verão 2023/2024, obtidos das plataformas Sentinel 2, Landsat 8-9 e Planet. O trabalho foi conduzido com imagens de uma área da FAECA que continham o desenvolvimento da cultura da soja na safra 2023/2024. As imagens foram baixadas dos satélites artificiais Landsat, Sentinel-2 e Planet, disponibilizadas em plataformas gratuitas, o Sentinel Hub para os dois primeiros, e para o acesso as imagens Planet foi feito por meio do Programa de Educação e Pesquisa. A quantidade de imagens foi de uma por mês (de outubro de 2023 a março de 2024). As imagens foram reprojetadas para projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, e depois calculado o NDVI, posteriormente fez-se a reprojeção para uma matriz de 3 x 3 m, padronizando dessa forma o pixel do NDVI para todos os imageadores. Posteriormente foram feitas as análises: descritiva, correlação, cálculo de área e índice Kappa. Pelas imagens obtidas pode-se verificar que ocorreu pequenas diferenças entre os valores de NDVI entre as plataformas, sendo a de maior relevância a do mês de janeiro/2024 entre os dados Planet e Landsat. Portanto, o índice NDVI da soja obtido pelas imagens das plataformas Planet e Sentinel 2 apresentam maior similaridade do que quando comparado com os dados da plataforma Landsat 8-9.

Palavras-chave: tecnologia, agricultura de precisão, índice de vegetação.

FRANCO, P. V. C. **Investigation of similarities between NDVI maps from sensing platforms.** 2024. 26f. Bachelor's Course Completion Work in Agricultural Engineering – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2024.

ABSTRACT

The use of remote sensing for Earth observation with the use of satellites began in the 1970s with the launch of Landsat. Since then, new constellations and platforms have been launched, allowing for a diversity of images of the Earth's surface. Thus, the objective of this is to evaluate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data of soybeans from the 2023/2024 summer harvest, obtained from the Sentinel 2, Landsat 8-9 and Planet platforms. The work was conducted with images of an area of FAECA that contained the development of the soybean crop in the 2023/2024 harvest. The images were downloaded from the artificial satellites Landsat, Sentinel-2 and Planet, made available on free platforms, the Sentinel Hub for the first two, and access to the Planet images was done through the Education and Research Program. The number of images was one per month (from October 2023 to March 2024). The images were downloaded from the artificial satellites Landsat, Sentinel-2 and Planet, made available on free platforms, the Sentinel Hub for the first two, and access to the Planet images was done through the Education and Research Program. The number of images was one per month (from October 2023 to March 2024). The images were reprojected for Universal Transverse Mercator Projection – UTM, and then the NDVI was calculated, later reprojected to a 3 x 3 m matrix, thus standardizing the NDVI pixel for all imagers. Subsequently, the following analyses were performed: descriptive, correlation, area calculation and Kappa index. From the images obtained, it can be seen that there were small differences between the NDVI values between the platforms, the most relevant being that of January/2024 between the Planet and Landsat data. Therefore, the soybean NDVI index obtained by the images from the Planet and Sentinel 2 platforms is more similar than when compared to the data from the Landsat 8-9 platform.

Keywords: technology, precision agriculture, vegetation index.

SUMÁRIO

RESUMO 4
ABSTRACT 4
1 INTRODUÇÃO 6
2 REVISÃO DE LITERATURA 7
2.1 Sensoriamento remoto e geoprocessamento 7
2.2 Índices de vegetação 8
3 MATERIAIS E MÉTODOS 9
3.1 Localização e histórico da área 9
3.2 Coleta de Imagens 10
3.3 Índice de vegetação (IV) 11
3.4 Análise dos dados 12
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 13
4.1 Estatística descritiva 13
4.2 Mapas do índice de vegetação 15
5 CONCLUSÃO 20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 21

1 INTRODUÇÃO

Os satélites de sensoriamento remoto de observação dos recursos terrestres, conhecidos como de observação da Terra (FLORENZANO, 2011) com sensores embarcados possibilitaram a obtenção de imagens do globo terrestre e monitoramento da vegetação. Dentre esses satélites, pode-se destacar: o Landsat, Sentinel e mais recente a Planet.

O Landsat 1 foi lançado em 1972 (FLORENZANO, 2011) pela NASA. Foram lançados até hoje 8 satélites, sendo o LANDSAT-8 com o sensor OLI (*Operational Terra Imager*) com 15 m de resolução espacial na pancromática e de 30 m na multiespectral; e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), sendo todas as imagens ortoretificadas e em formato GeoTiff (INPE, 2023).

O satélite Sentinel 2A e 2B, foram lançados em 2015 e 2017, respectivamente, primeiro satélite óptico a ser operado pela ESA () tendo como sensores o SAR (*Synthetic Aperture Satellite*) e MSI (*Multispectral Imager*) que possui 13 bandas espectrais, variando de 443 a 2190 nm, com resolução espacial de 10 m para as bandas do visível, 20 m para o infravermelho e 60 m para as bandas de correção atmosférica (EMBRAPA, 2023)

A Planet tem duas constelações com mais de 150 satélites, sendo o Dove mais antigo lançado em 2015 (PLANET, 2023) com imagens diárias da Terra. A constelação PlanetScope possui o sensor SD – Super Dove que apresenta as bandas do visível mais infravermelho, com resolução espacial de 3,0 m, resolução radiométrica de 12 bits e período de revisita diário (PLANET, 2022a). As imagens podem ser obtidas no nível 3B sendo ortoretificadas e corrigidas.

Assim, os satélites artificiais permitem o monitoramento do dossel das culturas, sendo está uma das técnicas de manejo importantes para acompanhamento da produção agrícola (KASIMATI et al., 2023). Por meio de mapas ou imagens pode ser feito o monitoramento da vegetação, avaliar saúde e vigor da plantação (KASIMATI et al., 2023), por meio do cálculo de índices de vegetação (IV).

Portanto, o trabalho objetivou avaliar os dados do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) da soja da safra de verão 2023/2024, obtidos das plataformas Sentinel 2, Landsat 8-9 e Planet.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sensoriamento remoto e geoprocessamento

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta de importância para diferentes áreas, pois permite o estudo de grandes áreas geográficas ao mesmo tempo (BATISTELLA et al., 2023). Uma das áreas de tecnologia que recebeu atenção especial foi o desenvolvimento de sensores para acompanhar o desenvolvimento das lavouras e do meio ambiente. Este é um dos campos de pesquisa mais desafiadores devido às dificuldades que o ambiente impõe ao sensoriamento do ambiente. Existem dois métodos de monitoramento: um que usa sensores proximais e outro que usa sensoriamento remoto. Os sensores proximais estão próximos ou em contato direto com o objeto detectado, enquanto que no sensoriamento remoto, o sensor está longe do alvo (QUEIROZ et al., 2020).

O sensoriamento remoto conforme citado por Barros e Freitas Junior (2023) permite obter a informação sem contato com o alvo, sendo a forma mais comum o uso de sensores em satélites orbitais. Ainda os autores comentam que a escolha da resolução espacial das imagens, o tamanho do pixel, é de suma importância, mas também está associada a outras características como a resolução temporal e espectral. Ainda afirmam que a banda do vermelho e do infravermelho próximo são as mais relacionadas com a biomassa. Por causa dessa relação das bandas do vermelho e do infravermelho é comum a geração de índices de vegetação para acompanhamento e monitoramento da biomassa da vegetação.

Para uso das imagens de satélites é necessário utilizar de ferramentas do geoprocessamento, segundo Reghini e Cavichioli (2020), é necessário a utilização do geoprocessamento para o tratamento e análise dos dados obtidos, sendo os resultados podendo ser utilizados na tomada de decisões.

A integração de dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento têm sido essenciais para o desenvolvimento de sistemas de informações geográficas (SIG), proporcionando análises espaciais que são eficientes e precisas, corroborando para a obtenção de um melhor resultado." (CÂMARA & MEDEIROS, 2008).

Existem inúmeras plataformas que fornecem imagens gratuitas e pagas que podem ser utilizadas para pesquisa e atividades profissionais. Dentre estas pode-se citar a plataforma “PlanetScope” que possui centenas de satélites em órbita sendo capaz de obter imagens com resolução de 3 m de qualquer local da Terra diariamente, o que permite obter imagens atuais de

grandes áreas com alto padrão de qualidade e precisão planimétrica (PLANET LABS, 2022), podendo ser gratuitas para entidades e pesquisadores e pagas quando para fins comerciais. Outra plataforma de fácil utilização é a “Sentinel Hub” que apresenta a possibilidade de baixar imagens de vários sensores de diferentes satélites (SENTINEL HUB, 2023) de maneira gratuita. Essas duas plataformas ainda possuem complementos que permite baixar as imagens diretamente no SIG (Sistema de Informação Geográfica) o QGIS, que é um software gratuito, de código livre e aberto (QGIS.ORG, 2023)

2.2 Índices de vegetação

Os índices de vegetação, como o NDVI, são uma das principais ferramentas para realizar o monitoramento da saúde das plantas, permitindo a avaliação da cobertura vegetal e da produtividade agrícola. (HUETE et al., 2002)

Bem como, o uso de índices de vegetação oriundos de dados de satélite, possibilita uma avaliação e detecção precoce de estresse hídrico e pragas em culturas agrícolas, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos." (ROUSE et al, 1974)

Além da análise da evolução das culturas ou modificações da paisagem, os produtos do sensoriamento remoto podem ser utilizados para análise do ambiente por meio de índices de vegetação. Batistella et al. (2023) destacam que o Sensoriamento Remoto orbital (SR) tem se mostrado uma ferramenta promissora, pois permite o monitoramento de culturas em grandes áreas geográficas.

Assim, um índice espectral de vegetação é a integração de duas ou mais bandas espectrais, cuja finalidade é realçar características da vegetação (ALBUQUERQUE et al., 2019). Em geral, as operações algébricas entre as bandas são aplicadas para promover realce, numa base pixel-a-pixel (BREUNING et al., 2019). Assim, por meio do índice de vegetação é possível verificar em que estado a vegetação se encontra.

Existem muitos índices que podem ser calculados com base nas informações espectrais disponíveis nos sensores orbitais. Dentre os índices mais utilizados tem-se o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) (ROUSE et al., 1973).

O NDVI usa uma combinação de refletância de vermelho e infravermelho próximo (ROUSE et al., 1973), que se relaciona com o vigor e a biomassa da vegetação. Maia et al. (2023) afirmaram que o IV está diretamente relacionado à produção de biomassa, ao índice de área foliar e cobertura do solo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e histórico da área

As imagens da área foram obtidas de plataformas gratuitas que fornecem dados de diversos sensores multiespectrais. A área utilizada para este trabalho possui 3,55 ha, e consta de parte do experimento de mais de 15 anos com sistemas de culturas de soja e milho no verão e rotação de culturas no inverno, sendo que para este trabalho utilizou-se apenas a área que continham de maneira continua a cultura da soja da safra 2023/2024.

Esta área está localizada na FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD no município de Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22º 14’ S, longitude de 54º 59’ W e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférrico (SANTOS et al., 2018) com teor médio de 60 % de argila (Figura 1).

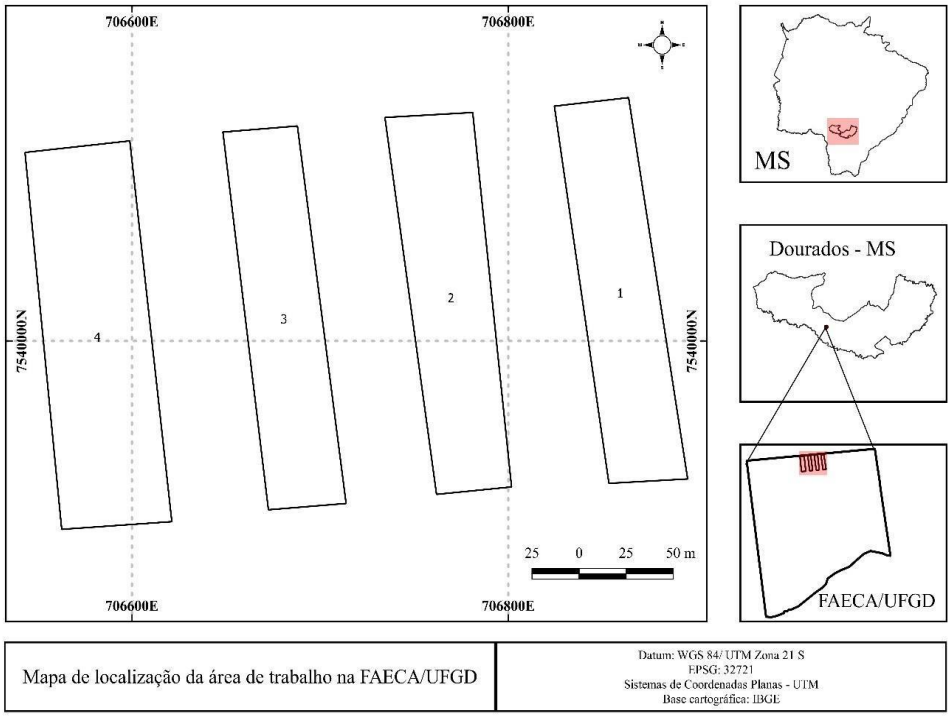

FIGURA 1. Localização da área de estudo. Fonte: Autor (2024).

O sistema utilizado na área é de semeadura na palha, com soja verão e rotação de culturas no inverno. As parcelas observadas estavam com soja, que foi semeada em 20 de outubro de 2023.

A área experimental possui altitude média de 406,45 m, variando de 403,6 a 408,59 m (Figura 2); e declividade média de 1,67%, variando de 0,24 a 3,15%.

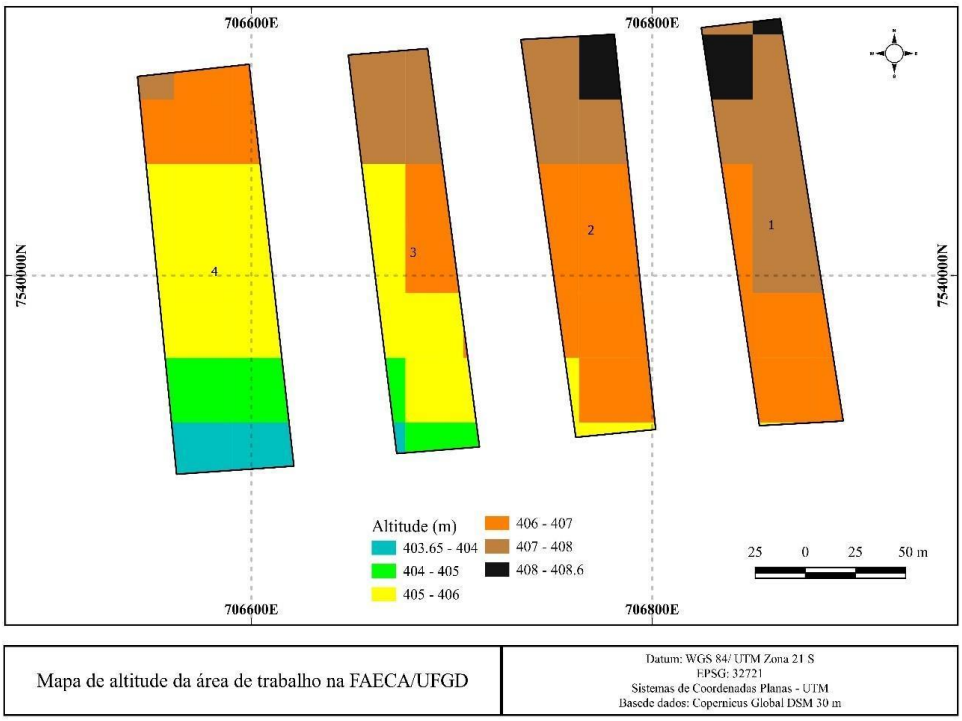

FIGURA 2. Altitude da área experimental. Fonte: Autor (2024).

3.2 Coleta de Imagens

As imagens orbitais para a determinação dos índices de vegetação (IV) foram obtidas por meio de plataforma gratuita do instrumento imageador selecionado: Sentinel-2A, Landsat 8-9 e Planet (PLANET TEAM, 2022). Foram selecionadas uma imagem por mês, de outubro de 2023 a março de 2024, a fim de compreender o período de cultivo de verão.

As imagens 2A do satélite Sentinel-2 do sensor MSI – Multiespectral Imager, são corrigidas atmosfericamente, com uma resolução espacial de 10 m pixels e um tempo de revisita de 5 dias tendo suas imagens com 12 bits. As imagens foram baixadas da Plataforma Sentinel Hub (EO BROWSER, 2024). As imagens foram nas datas: 15/10/2023; 04/11/2023; 24/12/2023; 08/01/2024; 02/02/2024 e 13/03/2024.

As imagens do Landsat 8-9 L2 obtidas do sensor OLI – *Operation Land Imager* são corrigidas atmosfericamente, com uma resolução espacial de 30 m (banda multiespectral) de pixels e um tempo de revisita de 16 dias, sendo baixados da Plataforma Sentinel Hub (EO BROWSER, 2024). As imagens do LANDSAT-8 são ortorretificadas e todos os produtos do catálogo estão em formato GeoTIFF. As imagens foram nas datas: 17/10/2023; 10/11/2023; 28/12/2023; 29/01/2024; 06/02/2024 e 01/03/2024.

As imagens da Plataforma Planet foram baixadas do sensor Super Dove (PSB.SD) que possui órbita de 475-525 km, 98º inclinação, revisita diária e suas imagens com 12 bits na projeção WGS84 Web Mercator (EPSG:3857) (PLANET TEAM, 2022a). As imagens do sensor Super Dove (PSB.SD) com nível de correção 3B possuem quatro bandas (RGB e NIR) sendo ortorretificado, com reflectância da superfície (SR), segundo Planet Team (2022b). As imagens foram baixadas da plataforma Planet (https://www.planet.com/) por meio de cadastro no Programa de "*Education and Research (E&R) Program*" que permite aos professores vinculados a instituições uma cota de downloads mensais. As imagens foram nas datas: 15/10/2023; 08/11/2023; 28/12/2023; 07/01/2024; 04/02/2024 e 12/03/2024.

As bandas espectrais coletadas e suas informações estão na Tabela 1.

TABELA 1. Dados de ordem das bandas

Resolução (m)	Banda	Nome da banda	Largura da faixa (nm)
		Sentinel 2	
10	B4	Vermelho (Red - R)	665
	B8	Infravermelho Próximo (NIR)	842
		Landsat 8-9	
30	B4	Vermelho (Red - R)	640-690
	B5	Infravermelho Próximo (NIR)	850-880
		Planet	
3	B3	Vermelho (Red - R)	650-680
	B4	Infravermelho Próximo (NIR)	845-885

3.3 Índice de vegetação (IV)

Com as imagens foi seguido o processamento no software livre e gratuito o QGIS Desktop 3.16.4. (QGIS.org, 2022) sendo utilizado o complemento Calculadora Raster, algoritmo com a capacidade de realizar os cálculos referentes às expressões matemáticas. O NDVI foi calculado seguindo a equação apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Equação do NDVI.

Índice	Equação	Fonte
NDVI = Nir – Red / Nir + Red	(1)	Rouse et al. (1973)

Infravermelho próximo (Nir), vermelho (Red).

Após a geração do NDVI do Sentinel e Landsat, estes foram reprojetados para uma grade comum de 3 x 3 m, a fim de padronizar os pixels igual a imagem Planet.

As imagens dos imageadores, passaram pelo processo de vetorização, recorte e a simbologia na camada vetorial. Para comparação dos mapas entre os imageadores foi feito a reclassificação dos mapas com base nas classes de: Classe 1 de -1,0 a 0,20; Classe 2 de 0,20 a 0,40; Classe 3 de 0,40 a 0,60; Classe 4 de 0,60 a 0,80; e Classe 5 de 0,80 a 1,0, (Chedid et al., 2024). Na etapa de finalização dos mapas do índice de vegetação utilizou-se a simbologia graduado e o gradiente de cores escolhido sendo o *Red-Yellow-Green*.

3.4 Análise dos dados

Os dados descritivos do NDVI foram obtidos da ferramenta "Mostrar resumo estatístico" do QGIS.

Foi feito a criação de um geodatabase no nível da célula (3x3 m) que contém as coordenadas do centroide e os valores médios de NDVI de todos os imageadores que permitiu a análise de correlação de Pearson para investigar as relações entre os dados NDVI de todos os sensores para as datas de medição selecionadas. Valores de "r" da correlação > 0,50 serão considerados como exibindo uma relação moderada a forte.

Com os mapas classificados conforme Chedid et al. (2024) foi realizado a Reclassificação por Tabela, que permitiu a realização do cálculo de área (comando r.report) e o cálculo do índice Kappa (comando r.kappa) conforme Cohen (1960) de cada data, tendo como referência o NDVI da imagem Planet.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Estatística descritiva

Os dados de média e desvio padrão do NDVI da soja avaliado na safra 2023/24, da área em estudo, indica que ocorreu aumento do valor do NDVI, principalmente nos meses de dezembro e janeiro (Figura 3). Pelas barras de desvio padrão, da Figura 3, pode-se verificar as diferenças entre as plataformas Sentinel, Landsat e Planet, sendo que para outubro de 2023 o valor do NDVI foi menor com os dados do Sentinel. Em novembro de 2023 verifica-se diferença entre Sentinel e Planet sendo maior para o segundo. Em dezembro de 2023 não houve diferença entre os dados das plataformas. Em janeiro de 2024 os dados de NDVI do Landsat diferiam do Planet. Já em fevereiro e março de 2024, final do ciclo da cultura e colheita, não apresentaram diferença entre os valores de NDVI. Assim, verifica-se pequenas diferenças entre os valores de NDVI entre as plataformas, sendo a de maior relevância a do mês de janeiro/2024 entre os dados Planet e Landsat.

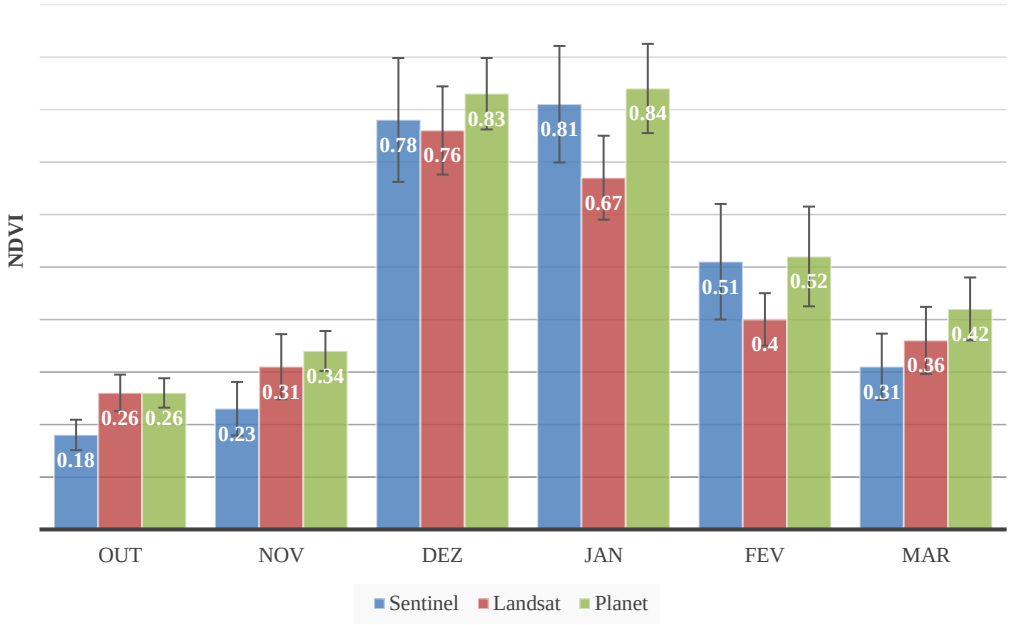

FIGURA 3. Média e desvio padrão do NDVI da soja. Fonte: Autor (2024).

Os dados de mínimo, máximo e coeficiente de variação dos dados de NDVI da cultura da soja na safra 2023 e 2024 indicam que nos meses com menor cobertura vegetal do solo e com diminuição do vigor vegetativo da planta, os dados da plataforma Landsat apresentaram valores mínimos maiores em relação às demais (Tabela 3). Os dados do coeficiente de variação

(CV) foram na maioria entre 10% a 20%, sendo classificados como médio (entre 10 e 20%), e apenas para a data de 28/12, com os dados Planet, apresentou valor baixo (< 10%), conforme explica Pimentel Gomes (2009). Assim, os dados utilizados podem ser considerados como homogêneos.

TABELA 3. Estatística descritiva do índice de vegetação NDVI nas diferentes plataformas.

	2023			**2024**		
	Sentinel 2					
	15/10	**04/11**	**24/12**	**08/01**	**02/02**	**13/03**
Mín	0,12	0,15	0,29	0,27	0,19	0,16
Máx	0,43	0,54	0,91	0,92	0,73	0,54
CV[1]	16,11	16,11	16,11	16,11	16,11	16,11
	Landsat 8-9					
	17/10	**10/11**	**28/12**	**29/01**	**06/02**	**01/03**
Mín	0,22	0,26	0,47	0,45	0,32	0,28
Máx	0,45	0,65	0,89	0,79	0,54	0,61
CV[1]	13,46	20,00	11,05	11,94	12,50	17,78
	Planet					
	15/10	**08/11**	**28/12**	**07/01**	**04/02**	**12/03**
Mín	0,17	0,26	0,52	0,43	0,29	0,27
Máx	0,41	0,58	0,94	0,93	0,74	0,63
CV[1]	10,77	11,18	8,19	10,12	18,27	14,29

([1]) CV (%): coeficiente de variação. Min: valor mínimo; Max: valor máximo. Fonte: Autor (2024).

Com base nos dados de NDVI das plataformas estudadas observou-se que existe correlação positiva entre todas (Tabela 4). Maiores valores de correlação são observados na relação Planet e Sentinel. Esse fato pode estar associado pela maior proximidade da resolução espacial destas plataformas, sendo o Planet com resolução espacial de 3 m e o Sentinel com 10 m. enquanto a Landsat tem 30 m de resolução espacial.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) foi classificado de acordo com Ferreira (2018). As correlações muito fortes (>0,9) foram encontradas no mês de fevereiro/24 e março/24 na relação Planet versus Sentinel e as correlações fortes (0,7 a 0,9) para as demais datas (Tabela 4). As correlações entre Planet versus Landsat teve melhor valor (correlação forte) apenas no mês de fevereiro/24. O mesmo resultado ocorreu na correlação entre Sentinel versus Landsat com correlação forte apenas no mês de fevereiro/24. As demais datas, na correlação entre Sentinel versus Landsat, tiveram correlação menores, sendo de 0,4 a 0,7 como moderada ou de 0,2 a 0,4 como fraca.

Desse modo, com os valores da correlação (Tabela 4) dos dados de NDVI obtidos das três plataformas, pode-se afirmar que existe uma similaridade dos dados entre os dados Planet e Sentinel, e menor com o Landsat.

TABELA 4. Análise de correlação de Person da relação do NDVI Planet, Sentinel e Landsat.

Índices	**Parâmetros**		
	Sentinel	Landsat	Sentinel x Landsat
	Outubro de 2023		
Planet	0,74**	0,61**	0,70**
	Novembro de 2023		
Planet	0,81**	0,71**	0,68**
	Dezembro de 2023		
Planet	0,81**	0,55**	0,40**
	Janeiro de 2024		
Planet	0,82**	0,54**	0,57**
	Fevereiro de 2024		
Planet	0,95**	0,87**	0,82**
	Março de 2024		
Planet	0,90**	0,38**	0,38**

Fonte: Autor (2024).

4.2 Mapas do índice de vegetação

Os mapas de NDVI da soja obtidos com os dados das imagens das plataformas Sentinel, Landsat e Planet estão apresentados nas Figuras 4, 5 e 6. Os dados de NDVI estão distribuídos nas Classes: 1 de -1,0 a 0,20; Classe 2 de 0,20 a 0,40; Classe 3 de 0,40 a 0,60; Classe 4 de 0,60 a 0,80; e Classe 5 de 0,80 a 1,0, (CHEDID et al., 2024)

Os meses de outubro e novembro de 2023 (Figuras 4, 5 e 6) tiveram dados de NDVI que indicam a presença de solo exposto e de palhada (NDVI<0,2) e início de desenvolvimento da cultura da soja (NDVI de 0,2 a 0,4). Pode-se verificar maior diferença entre os dados do NDVI da plataforma Sentinel com a Planet e Landsat no mês de outubro de 2024, em que 3,19 ha da área (Tabela 5), ficou na classe 1 de <0,2 do NDVI. Que possivelmente pode ser explicado pelas pequenas diferenças dos comprimentos de ondas captados entre os sensores.

Os meses de dezembro de 2023 e janeiro de 2024 (Figuras 4, 5 e 6) representam os meses que a planta de soja atinge o pico de atividade fotossintética, em que se predomina as classes 4 de 0,60 a 0,80 e Classe 5 de 0,80 a 1,0, (CHEDID et al., 2024). No mês de dezembro de 2024 o NDVI obtido com os dados da imagem da plataforma Landsat teve a menor área

(1,35 ha) na classe 5. E no mês de janeiro de 2024 o NDVI com os dados da imagem da plataforma Landsat não teve nenhum valor de área na Classe 5. Mostrando aqui uma maior discrepância dos dados de NDVI do Landsat frente às plataformas Sentinel e Planet.

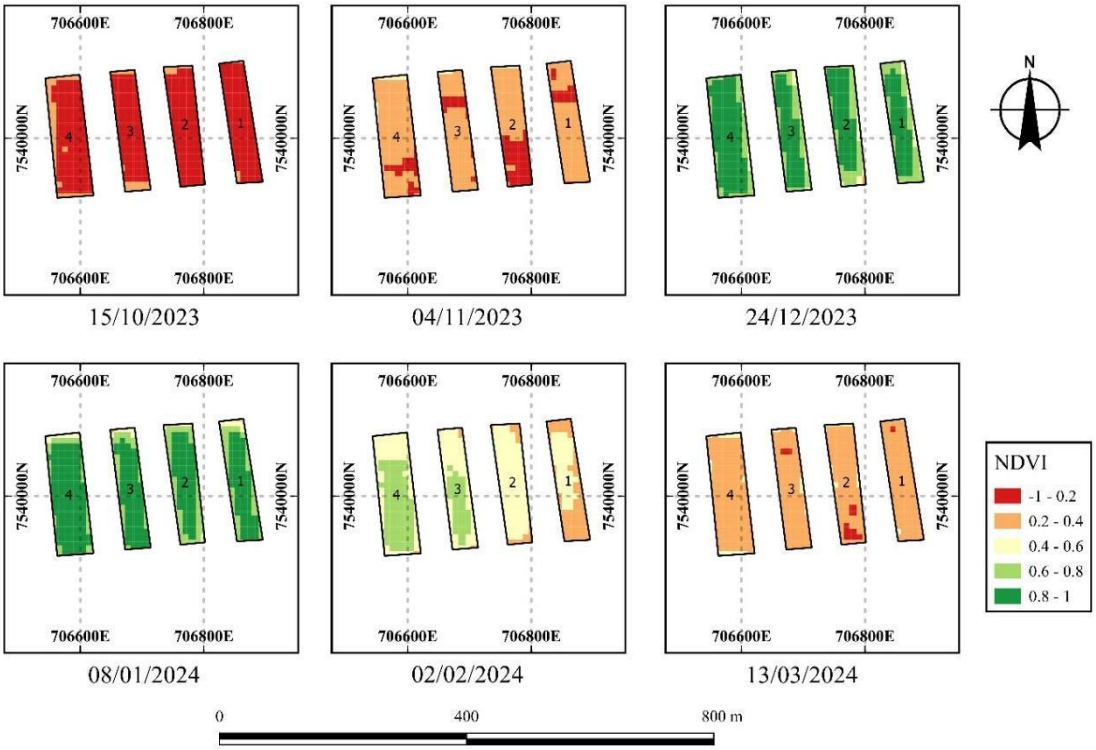

FIGURA 4. Índice de vegetação NDVI da soja, com imagens Sentinel. Fonte: Autor (2024).

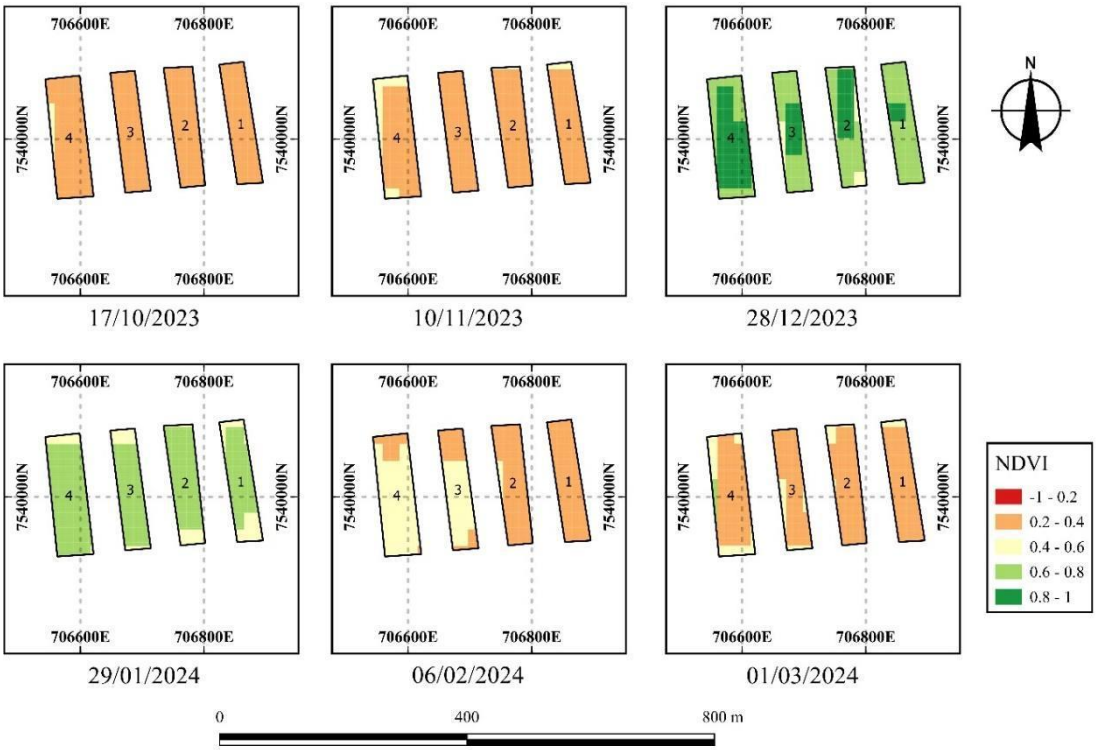

FIGURA 5. Índice de vegetação NDVI da soja, com imagens Landsat. Fonte: Autor (2024).

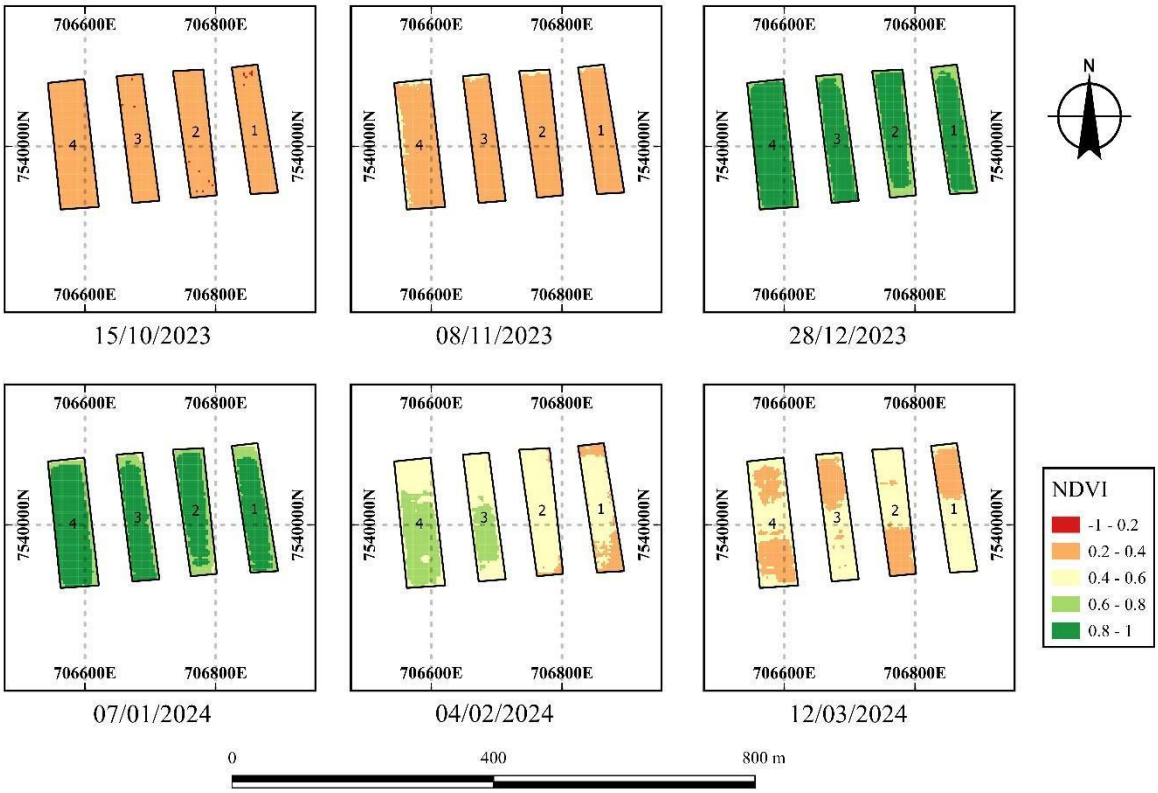

FIGURA 6. Índice de vegetação NDVI da soja, com imagens Planet. Fonte: Autor (2024).

TABELA 5. Área (ha) das classes do índice de vegetação NDVI nas plataformas.

	2023			**2024**		
			Sentinel 2			
Classe	**15/10**	**04/11**	**24/12**	**08/01**	**02/02**	**13/03**
1	3,19	0,65	--	--	--	0,09
2	0,36	2,81	0,01	0,01	0,55	3,27
3	0,01	0,08	0,21	0,14	2,03	0,18
4	--	--	1,01	0,89	0,96	--
5	--	--	2,32	2,50	--	--
			Landsat 8-9			
	17/10	**10/11**	**28/12**	**29/01**	**06/02**	**01/03**
1	--	--	--	--	--	--
2	3,49	3,28	--	--	2,02	3,06
3	0,07	0,27	0,16	0,54	1,53	0,43
4	--	0,01	2,04	3,01	--	0,05
5	--	--	1,35	--	--	--
			Planet			
	15/10	**08/11**	**28/12**	**07/01**	**04/02**	**12/03**
1	0,01	--	--	--	--	--
2	3,52	3,35	--	--	0,29	1,38
3	0,01	0,18	0,01	0,07	2,30	2,15
4	--	--	0,71	0,81	0,93	0,01
5	--	--	2,82	2,65	--	--

Fonte: Autor (2024).

Batistella et al. (2023) ao comparar os sensores Modis e MSI (*Multispectral Instrument* do Sentinel) perceberam que o sensor MSI integrado aos algoritmos de aprendizado de máquina estima com precisão a produtividade das culturas e que os índices de vegetação com datas de imagem correspondentes à maturação da cultura tiveram maior grau de importância na previsão. Observa-se assim que as diferenças entre sensores é uma ocorrência, como observado a diferença do Landsat para Planet e Sentinel

O uso do NDVI para estimativa da produtividade tem sido utilizado e Andrade et al. (2018) afirmam que os estádios de desenvolvimento V5-V6 e R2 da soja mostrou-se promissor na predição da produtividade de grãos de soja com o uso dos dados do Landsat e Sentinel 2. Os estádios de V5-V6 e R2 neste trabalho, justamente se coadunam com o mês de dezembro e janeiro, em que se observa o NDVI na faixa de 0,6 a 0,8 e maior que 0,8. O que demonstra a potencialidade do NDVI, para monitoramento e predição de produtividades.

A análise dos dados do NDVI por meio do índice de concordância Kappa é amplamente utilizada para avaliar a concordância entre observações, especialmente se tratando de dados espaciais (Tabela 6).

TABELA 6. Calculo do Kappa para a relação do NDVI Planet versus Sentinel e Landsat.

Índices	**Parâmetros**	
	Kappa	**Acertos (%)**
	Outubro de 2023	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,00	10,34
NDVI Planet x NDVI Landsat	0,03	97,27
	Novembro de 2023	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,11	79,39
NDVI Planet x NDVI Landsat	0,48	94,01
	Dezembro de 2023	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,47	79,21
NDVI Planet x NDVI Landsat	0,15	50,99
	Janeiro de 2024	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,49	79,95
NDVI Planet x NDVI Landsat	-0,03	15,80
	Fevereiro de 2024	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,71	84,41
NDVI Planet x NDVI Landsat	-0,12	24,59
	Março de 2024	
NDVI Planet x NDVI Sentinel	0,03	41,05
NDVI Planet x NDVI Landsat	0,10	47,57

Fonte: Autor (2024).

Os dados para o NDVI da soja da análise entre Planet versus Sentinel e Planet versus Landsat foram menores para o Landsat na maioria das datas (Tabela 6), principalmente dezembro e janeiro em que se atinge o ponto de máxima atividade fotossintética da planta. Isso indica que os dados de NDVI calculados a partir do Landsat não indicou a mesma observação das outras duas plataformas.

Analisando o mês de outubro de 2023 o índice Kappa teve uma classificação fraca (próximo a zero) (Tabela 6), conforme pode-se interpretado por Landis e Koch (1997) que sugere os valores do coeficiente de Kappa maiores do que 0,80 representam concordância "quase perfeita"; entre 0,60 e 0,80, "substancial"; entre 0,40 e 0,60, "moderada"; e abaixo de 0,40 representam concordância "fraca". Os melhores valores do índice Kappa foram nos meses de dezembro/23, janeiro/24 e fevereiro/24, sendo moderada e substancial, na relação Planet versus Sentinel. Portanto, verifica-se maior semelhança dos dados obtidos com a plataforma Planet e a Sentinel.

5 CONCLUSÃO

Os dados médios de NDVI da soja avaliado na safra 2023/24 apresenta maior valor, principalmente nos meses de dezembro e janeiro

Os dados do NDVI para as plataformas Planet, Sentinel 2 e Landsat 8-9 apresentam correlação positiva.

O índice de NDVI da soja obtido pelas imagens das plataformas Planet e Sentinel 2 apresentam maior similaridade do que quando comparado com os dados da plataforma Landsat 8-9.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. M.; RIBEIRO, J. R. C.; SALES, M. C. L. A aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do açude Castanhão. **Revista da Casa da Geografia de Sobral** (RCGS), v. 21, n. 2, p. 674-685, 2019.

ANDRADE, T. G., ANDRADE JUNIOR, A. S. D., SOUZA, M. O., LOPES, J. W. B., & VIEIRA, P. F. D. M. J. Soybean yield prediction using remote sensing in southwestern Piauí State, Brazil. **Revista Caatinga**, v.35, n.1, p.105–116, 2022.

BARROS, P. H. B. de; FREITAS JUNIOR, A. M. de. Combinando Inteligência Artificial e imagens de satélite para a previsão de sinistros agrícolas: Uma nota. **Revista Brasileira de Economia**, v. 77, p. e012023, 2023.

BATISTELLA, D.; MODOLO, A. J.; CAMPOS, J. R. da R. Comparative analysis of orbital sensors in soybean yield estimation by the random forest algorithm. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e002423, 2023.

BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; MARTINS NETO, R. P. Drones na agricultura de precisão. In: PRUDKIN, G.; BREUNIG, F. M. **Drones e Ciência: Teoria e aplicações metodológicas**. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2019. p. 91-110.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para a gestão municipal. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2020.

CHEDID, V.; CORTEZ, J. W.; ARCOVERDE, S. N. S. Monitoring the vegetative state of coffee using vegetation indices. **Engenharia Agrícola**, 44, e20220212, 2024.

EMBRAPA. **Satélites de monitoramento**: Sentinel. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em 13 de março de 2023.

EO Browser. **Sinergise Ltd.** Disponível em: https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/. Acesso em 09 de maio de 2024.

FERREIRA, P. V. Regressão e correlação. In: FERREIRA, P. V. **Estatística Experimental aplicada às ciências agrária**s.1 ed. Viçosa: Editora UFV, 2018.p. 189 - 217.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 128p.

FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, A. K.; DRUMMOND, S. T. Management Zone Analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, 96, 100–108, 2004.

INPE. **Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat> Acesso em 13 de março de 2023.

KASIMATI, A.; PSIROUKIS, V.; DARRA, N.; KALOGRIAS, A.; KALIVAS, D.; TAYLOR, J.A.; FOUNTAS, S. Investigation of the similarities between NDVI maps from different proximal and remote sensing platforms in explaining vineyard variability. **Precision Agriculture**, 2023. https://doi.org/10.1007/s11119-022-09984-2

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, United States, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1997.

MAIA, F.C. O.; BUFON, V.B.; LEÃO, T.P. Vegetation indices as a Tool for Mapping Sugarcane Management Zones. **Precision Agriculture**, v.24, p.213–234, 2023. https://doi.org/10.1007/s11119-022-09939-7

PEREIRA, G. W.; VALENTE, D. S. M.; QUEIROZ, D. M. D.; COELHO, A. L. D. F.; COSTA, M. M.; GRIFT, T. Smart-Map: An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, v.12, n.1350, 2022.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PLANET LABS. **Planet Imagery Product Specification**. 2022. 101p.

PLANET LABS PBC. **Planet**. Disponível em: <https://www.planet.com > Acesso em 13 de março de 2023.

QUEIROZ, D. M. de, COELHO, A. L. de F.; VALENTE, D. S. M.. Sensors applied to Digital Agriculture: A review. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. spe, p. e20207751, 2020.

QGIS.org. **QGIS Geographic Information System. QGIS Association**. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/index.html . Acesso em: 10 de agosto de 2022.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. Utilização de geoprocessamento na agricultura de precisão. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020.

HUETE, A. R., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X., & FERREIRA, L. G.. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n.83, v.1-2, p. 195-213, 2020.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., & DEERING, D. W.. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **In Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, p. 309-317, 1974.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation**. Greenbelt, Maryland, USA: NASA/GSFC, 1973, 390 p.

SANTOS, H. B.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**– 5. ed., rev. e ampl. − Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SENTINEL HUB. **Cloud api for satellite imagery**, Sinergise Ltd. Disponível em: https://www.sentinel-hub.com Acesso em: 24 de outubro de 2023

TAYLOR, J.A.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. Establishing management classes for broadacre agricultural production. **Agronomy Journal**, v.99, p.1366-1376, 2007.

TAGARAKIS, A.; LIAKOS, V.; FOUNTAS, S.; KOUNDOURAS, S.; GEMTOS, T. A. Management zones delineation using fuzzy clustering techniques in grapevines. **Precision Agriculture**, v.14, n.1, p.18–39, 2013.