

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO RED EDGE NAS BANDAS B05, B06
E B07 DO SENTINEL-2**

WELLINGTON DE CASTRO GOMES

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO RED EDGE NAS BANDAS B05, B06 E B07
DO SENTINEL-2**

Wellington De Castro Gomes

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 Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G633í Gomes, Wellington De Castro
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO RED EDGE NAS BANDAS B05, B06 E B07 DO SENTINEL-2
[recurso eletrônico] / Wellington De Castro Gomes. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Jorge Wilson Cortez.
TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Sensoriamento remoto. 2. Agricultura de precisão. 3. Imagens orbitais. I.
Cortez, Jorge Wilson. II. Título.

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

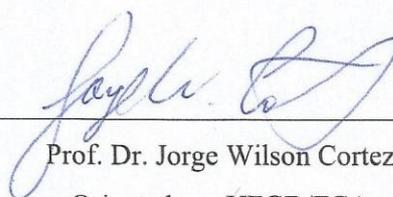
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

ÍNDICE DE VEGETAÇÃO RED EDGE NAS BANDAS B05, B06 E B07 DO SENTINEL-2

Wellington De Castro Gomes

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para obtenção
do grau de Bacharel em ENGENHARIA AGRONÔMICA

Aprovado em 27/03/2023.



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Orientador – UFGD/FCA



Profa. Dra. Anamari Viegas de Araújo Motomiya

UFGD/FCA



Prof. Dr. Eber Augusto Ferreira do Prado

IFMS – Ponta Porã

AGRADECIMENTOS

Este é um momento especial, o de expressar todos os sentimentos de agradecimento e de felicidade.

Agradeço primeiramente de coração a toda minha família, em especial ao meu Pai (Eliseu Gomes de Sousa), minha Mãe (Sirlene de Castro Silva), meu Irmão (Wesley de Castro Gomes), aos meus Tios (Selene de Castro Silva Santos e Antônio José dos Santos), que os quais amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo. Muito obrigado por compreenderem todos os momentos de ausência e por todo o apoio que sempre me deram.

Agradeço aos professores da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), pelo aprendizado adquirido durante estes anos. Ao professor Jorge Wilson Cortez, professor e orientador, pela paciência que teve comigo durante esta etapa de minha formação, pela ajuda e conselhos a mim destinados.

Muito obrigado a estes e aos demais, que não citados, mas que de alguma forma contribuíram para esta conquista!

E por fim, agradeço do fundo do meu coração a Deus por me iluminar e me guiar, pelas oportunidades que tive e pelas boas pessoas que colocou em minha vida.

MEU MUITO OBRIGADO

GOMES, W.C. **Índice de vegetação *Red Edge* nas bandas B05, B06 E B07 do Sentinel-2.** 2023. 25 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RESUMO

O Satélite Sentinel-2 disponibiliza gratuitamente em diversas plataformas 13 bandas com o instrumento MSI, sendo 4 bandas no visível e no infravermelho, 6 bandas no *Red Edge* e no infravermelho de ondas curtas e 3 bandas para correções atmosféricas. Dentre as bandas do *Red Edge*, as que ficam entre 705 e 783 nm podem ser utilizadas para o cálculo dos índices de vegetação. Dessa forma, objetivou-se avaliar o índice de vegetação *Red Edge* calculado a partir das Bandas B05 (705 nm), B06 (740 nm) e B07 (783 nm), para a cultura da soja, na safra 2022/2023. As imagens orbitais foram obtidas por meio da plataforma gratuita Sentinel HUB, produto L2A, com intervalos de revisão do satélite de 5 dias. Os índices de vegetação foram calculados pelo software de plataforma livre, o QGIS. Como testemunha foi calculado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice mais utilizado na agricultura. A banda B5 do satélite Sentinel 2 é importante para determinação dos valores do índice de borda vermelha de diferença normalizada (NDRE) e também para análise e comparação com o NDVI. As bandas B6 e B7 do satélite Sentinel 2 não se mostraram aptas para uso do cálculo do NDRE e na classificação proposta dos índices de vegetação. O NDRE apresenta valor menor que o NDVI, permitindo uma análise por mais tempo do desenvolvimento das culturas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Agricultura de precisão. Imagens orbitais.

GOMES, W.C. **Red Edge vegetation index in Sentinel2 bands B05, B06 and B07.** 2023. 25 f. Completion of course work (Bachelor of Agronomic Engineering) – Faculty of Agrarian Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2022.

ABSTRACT

Satellite Sentinel-2 makes 13 bands available free of charge on several platforms with the MSI instrument, 4 bands in visible and infrared, 6 bands in Red Edge and shortwave infrared and 3 bands for atmospheric corrections. Among the Red Edge bands, those between 705 and 783 nm can be used to calculate vegetation indices. Thus, the objective was to evaluate the Red Edge vegetation index calculated from Bands B05 (705 nm), B06 (740 nm) and B07 (783 nm), for the soybean crop, in the 2022/2023 harvest. The orbital images were transmitted through the free Sentinel HUB platform, L2A product, with satellite revision intervals of 5 days. The vegetation indices were calculated using the free platform software, QGIS. As a control, the vegetation index by normalized difference (NDVI) was calculated, the most used index in agriculture. The B5 band of the Sentinel 2 satellite is important for the spirituality of the normalized difference Red Edge index (NDRE) values and also for analysis and comparison with the NDVI. The bands B6 and B7 of the Sentinel 2 satellite are not considered suitable for use in the NDRE calculator and in the proposed classification of vegetation indices. The NDRE has a lower value than the NDVI, allowing a longer analysis of crop development.

Keywords: Remote sensing. Precision agriculture. Orbital images.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Aspectos econômicos da cultura da soja	10
2.2 Agricultura de precisão.....	10
2.3 Sensoriamento Remoto.....	11
2.4 Índices de vegetação.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 Descrição do local	14
3.2 Esquema amostral.....	15
3.3 Imagens e índices de vegetação.....	15
3.4 Análise dos dados	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÕES.....	23
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é uma das técnicas da agricultura de precisão, que faz o uso de sensores e permite mensurar as características de um campo, podendo para isso, utilizar-se de imagens de satélites, fotografias aéreas e outros métodos não intrusivos (GRISSE et al., 2009, apud VAREIRO, 2020).

Assim, o uso dos dados de Sensoriamento Remoto no contexto da gestão dos recursos agrícolas torna-se interessante, uma vez que a manipulação destes dados espaciais possibilita gerar produtos passíveis de interpretação, que podem contribuir para uma maior eficiência produtiva. Nesse sentido, a obtenção e avaliação quantitativa de índices de vegetação, a partir de imagens orbitais, podem auxiliar em tomadas de decisão.

A partir da integração das bandas espectrais, foram criadas combinações matemáticas que aumentam a eficiência na extração de informações sobre as características e atividades da vegetação, denominadas Índices de Vegetação (PEREIRA et al., 2016).

A utilização dos índices de vegetação torna possível a determinação dos parâmetros agronômicos, como teor de clorofila, índice de área foliar, biomassa verde, porcentagem de cobertura verde, e dentre outros (JENSEN, 2009 apud CARNEIRO, 2018).

As imagens podem ser utilizadas para a avaliação de parâmetros como o crescimento e a produtividade nas culturas comerciais de soja e milho, onde há grande relação entre os valores levantados a campo e os observados por meio dos índices de vegetação (OVADO et al., 2018; BERTOLIN et al., 2017).

Existe a necessidade de estudar melhor os IV em soja, para que se possa entender o comportamento da mesma perante o uso dessa tecnologia, possibilitando a melhor interpretação dos resultados para o máximo aproveitamento de um cultivo (CARNEIRO, 2018).

Portanto, objetivou-se avaliar o índice de vegetação *Red Edge* calculado a partir das Bandas B05 (705 nm), B06 (740 nm) e B07 (783 nm) do Satélite Sentinel-2, produto L2A, para a cultura da soja, na safra 2022/2023. E especificamente calcular o valor do índice de vegetação *Red Edge* nas bandas B05, B06 e B07 em diferentes estádios de desenvolvimento da soja; e relacionar o índice *Red Edge* com o NDVI.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos econômicos da cultura da soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), originária no continente asiático, é um vegetal amplamente cultivado no mundo, principalmente pela capacidade de produção de proteína e óleo, e pelo uso dessas matérias-primas nos segmentos de alimentação humana e animal, e uso industrial (JANEQUE e SANTANA, 2021).

O cultivo da soja é exercido em todo o mundo, seu grão vegetal não é visto todos os dias na mesa e no dia a dia do consumidor, mas graças a sua grande demanda industrial, se encontra presente na alimentação de alguma forma. Uma ampla porcentagem de grãos dessa cultura é processada por muitas indústrias em que são transformados em diversos produtos e entregues aos consumidores podendo, então, estar presentes nas cozinhas, óleos, leite, proteína vegetal, carne animal e até na produção dos biocombustíveis (SILVA, 2021).

A produção brasileira de grãos na safra 2022/23 pode chegar a 309,9 milhões de toneladas. Quase metade desse volume total é resultado das lavouras de soja, o que representa uma colheita em torno de 151,4 milhões de toneladas, como mostra o 6º Levantamento da Safra de Grãos 2022/23 (CONAB, 2023).

Com isso, o complexo agroindustrial da soja tem expressiva importância socioeconômica para o Brasil, pois movimenta um amplo número de agente e organizações ligados aos mais diversos setores socioeconômicos, como empresas de pesquisa e desenvolvimento, fornecedores de insumos, indústrias de máquinas e equipamento, produtores rurais, cooperativas agropecuárias, cooperativas agroindustriais, processadoras, produtores de óleo, fabricantes de ração e usinas de biodiesel, dentre outras (HIRAKURI et al., 2014).

2.2 Agricultura de precisão

A agricultura de precisão (AP) é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial de propriedades do solo e das plantas encontradas nas lavouras e visa à otimização do lucro, sustentabilidade e proteção do ambiente, formando assim um conjunto de tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento que considere a variabilidade espacial da produção (MAPA/ACS, 2009).

Segundo Bassoi et al. (2020), a agricultura de precisão pode ser definida como o uso de práticas agrícolas com base nas tecnologias de informação (TI) e ferramentas da

mecanização e automação, considerando a variabilidade do espaço e do tempo sobre a produtividade das culturas .

As áreas agrícolas não são uniformes, tanto em termos dos fatores de produção (fertilidade, topografia, clima) como da própria produtividade obtida, sendo assim, cada porção da lavoura necessita de um manejo específico para otimizar a rentabilidade do agricultor e evitar impactos ambientais (PUSCH et al., 2019).

Sendo assim, a agricultura de precisão é um sistema de manejo e gestão da produção altamente dependente de dados e informações de campo (plantas, animais, solo, clima, máquinas etc.), georreferenciados, digitalizados e de alto fluxo, ela fornece uma base estrutural e conceitual para conectar os sistemas de produção agropecuários ao mundo digital, abrindo um canal de coleta e compartilhamento de dados a partir do campo (BASSOI et al., 2020).

2.3 Sensoriamento Remoto

O uso de imagens de satélite está cada vez mais disseminado devido à diversidade de sensores disponíveis e, principalmente, as facilidades em acessar e baixar em diferentes tipos de sites que armazenam esse tipo de imagem e com isso, cresce a importância de se verificar a necessidade de trabalhar no sensoriamento remoto com técnicas de pré-processamento dessas imagens antes de iniciar qualquer estudo, uma vez que a cada lançamento de um novo programa de monitoramento espacial há uma sensível melhora nas tecnologias usadas nos satélites (ARAÚJO et al., 2011).

No sensoriamento remoto, em geral, os sensores captam o comportamento espectral dos alvos, o que permite tirar inferências sobre eles. Esses sensores podem ser instalados em satélites, aeronaves e em veículos aéreos não tripulados (drones), apresentando prós e contras para cada objetivo (PUSCH et al., 2019).

Porém, uma grande vantagem desse tipo de sensoriamento como um todo é a coleta de dados sem a necessidade de adentrar a lavoura, o que também permite a cobertura de grandes áreas de forma simples e rápida (PUSCH et al., 2019).

Os sistemas de Sensoriamento Remoto fornecem dados periódicos e consistentes da superfície terrestre sendo um instrumento fundamental no monitoramento global e uma das principais ferramentas usadas para entender os processos dinâmicos inerentes às diversas formas ecossistêmicas e suas respostas às mudanças climáticas (MERCIER et al., 2020; GHOLIZADEH et al., 2018; TESTA et al., 2018).

2.4 Índices de vegetação

Segundo Vian (2015), o desenvolvimento de sensores ópticos de vegetação que permitam a realização do manejo *in situ* e em tempo real, com rápida interpretação dos resultados, tornam-se cada vez mais necessários uma vez que os índices gerados através das imagens orbitais e aéreas não permitem a utilização dos resultados em tempo real, devido à necessidade de correções geométricas, atmosféricas, radiométricas e de softwares computacionais para o processamento das imagens digitais.

Os índices de vegetação (IV) são tipos específicos de transformação radiométrica (lineares ou não), comumente utilizadas no intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar a cobertura vegetal, em especial na detecção de mudanças de uso e cobertura das terras, pois apresentam uma relação direta e satisfatória com a fitomassa foliar verde (JESUS; MIURA, 2009).

Os IV's têm a capacidade de serem utilizados como indicadores de crescimento e do vigor da vegetação verde, diagnóstico do índice de área foliar (IAF), levantamentos da biomassa, da atividade fotossintética, da produtividade e do percentual de cobertura do solo, dentre outras (PONZONI, 2001).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), utiliza um canal na banda correspondente ao vermelho e outro no infravermelho próximo, e são adotados em estudos de cobertura vegetal (ARAÚJO et al., 2011).

O NDVI pode ser definido pela seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \text{NIR-RED} / \text{NIR} + \text{RED}.$$

Sendo:

NIR: infravermelho próximo, RED: vermelho.

O NDVI é um indicador numérico no intervalo de -1,0 (vegetação sem folha, submetida a condição de estresse hídrico por déficit de água no solo) a 1,0 (vegetação com folhas, sem restrições hídricas e na plenitude de suas funções metabólicas e fisiológicas), baseado em quanto mais verde, nutrida, sadia e bem suprida, do ponto de vista hídrico for a planta, maior será a absorção do vermelho e maior será a reflectância do infravermelho (PEREIRA et al., 2016).

O NDRE foi desenvolvido por Barnes et al. (2000) e se difere do NDVI somente por utilizar a região do *Red Edge* ao invés da banda do vermelho e pode ser definido da seguinte forma:

$$\text{NDRE} = \text{NIR} - \text{REDEEDGE} / \text{NIR} + \text{REDEEDGE}.$$

Sendo:

NIR: infravermelho próximo, REDEEDGE: borda do vermelho.

Assim como o NDVI o NDRE ou diferença normalizada na banda de borda vermelha (Normalized difference red edge), é constituído da combinação de duas frequências distintas de luz, ou seja, pela divisão da soma das faixas de forte absorção de luz vermelha de clorofila (~ 720 nm) e a banda altamente reflexiva do infravermelho próximo (~ 760 nm) (BLOSFELD, 2018).

O uso da banda *Red Edge* pelo NDRE, a qual possui alta sensibilidade para a concentração de clorofila, permite com que a energia incidente possa ultrapassar a barreira mais superficial de elevada absorção e, ao mesmo tempo, evita o alto grau de reflectância verificado na parte mais inferior da estrutura interna da folha (GITELSON e MERZLYAK, 1996 apud VAREIRO, 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do local

A área do estudo utilizada foi um talhão de aproximadamente 205 ha de uma Fazenda Comercial (Figura 1), com longitude de -54.993532 e latitude de -22.189361 (WGS84) e tem sido conduzida no sistema plantio direto e sucessão anual das culturas soja e milho. A altitude média do terreno é de 420 m e declividade média de 1,52%, variando de 0,13 a 7,20%.

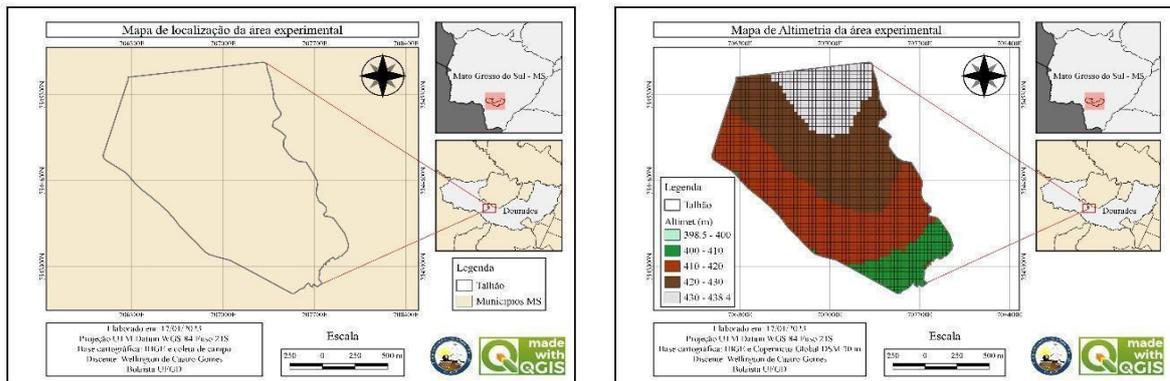


FIGURA 1. Mapa de localização e altimetria do terreno

Foram obtidos por meio de estação meteorológica de Dourados – UFGD (Guia Clima (2023)) os dados de temperatura média e precipitação do período de acompanhamento do talhão (Figura 2).

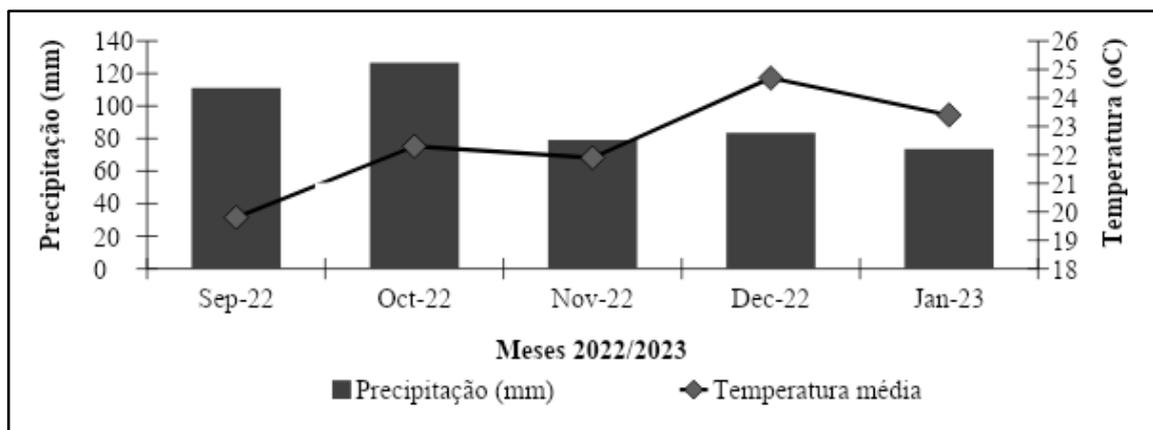


FIGURA 2. Gráfico de precipitação acumulada e temperatura média para meses de 2022/2023. Fonte: Guia Clima (2023).

Foi selecionado um talhão em que se fez o acompanhamento da semeadura da soja, variedade 96y90 da Pioneer, até à colheita. A semeadura da área ocorreu entre os dias 18 de setembro a 5 de outubro de 2022.

3.2 Esquema amostral

O esquema amostral utilizado foi constituído por parcelas, sendo cada parcela constituída por um pixel de dimensões 10 x 10 m, perfazendo uma área de 100 m² que representa a menor porção da imagem (pixel).

3.3 Imagens e índices de vegetação

As imagens orbitais para a determinação do índice de vegetação (IV) foram obtidas por meio de plataforma gratuita do instrumento imageador selecionado Sentinel-2A, produto L2A, nas datas de 25/10/2022; 04/11/2022; 09/11/2022; 19/11/2022; 24/11/2022; 29/12/2022; 08/01/2023 e 18/01/2023. Essas datas compreendem do período de emergência até a colheita da soja. Para a obtenção do IV foram utilizadas as bandas descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes do instrumento imageador Sentinel-2A.

Resolução (m)	Banda	Nome da banda	Comprimento médio da onda (nm)
10	B4	Vermelho	665
	B8	Infravermelho Próximo	842
	B5	Red Edge 1	705
20	B6	Red Edge 2	740
	B7	Red Edge 3	783

De posse das imagens, com o auxílio do software geoestatístico em plataforma livre QGIS foram realizados os cálculos, sendo utilizado a “Calculadora Raster”, algoritmo com a capacidade de realizar os cálculos referentes às expressões matemáticas de cada índice de vegetação (IV), sendo estes: IV por diferença normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1973), e o índice REDEDGE por diferença normalizada (NDRE) foi desenvolvido por Barnes et al. (2000), equações 1 e 2 respectivamente.

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

$$\text{NDRE} = \text{NIR} - \text{REDEDGE} / \text{NIR} + \text{REDEDGE} \quad (2)$$

Espectros eletromagnéticos: NIR - infravermelho próximo, RED - vermelho, REDEEDGE – borda do vermelho. Por fim, todos o IV foram agrupados em classes para a melhor visualização em forma de mapas.

3.4 Análise dos dados

Os dados dos IVs foram inicialmente submetidos à análise descritiva para obtenção de medidas de tendência central e dispersão de toda a área.

Foi realizada a correlação de Pearson entre os IVs na mesma data e foi classificado de acordo com Ferreira (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados descritivos dos índices de vegetação estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Estatística descritiva dos índices de vegetação.

25/10/2022				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,24	0,13	0,04	0,01
DP ¹	0,035	0,026	0,01	0,01
Mínimo	0,07	-0,06	-0,08	-0,11
Máximo	0,85	0,60	0,18	0,10
CV ² (%)	14,58	20,00	25,00	100,00
04/11/2022				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,42	0,25	0,05	0,01
DP ¹	0,04	0,026	0,01	0,01
Mínimo	0,12	-0,02	-0,08	-0,12
Máximo	0,85	0,58	0,17	0,09
CV ² (%)	9,52	10,40	20,00	100,00
19/11/2022				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,77	0,54	0,07	-0,006
DP ¹	0,04	0,03	0,01	0,012
Mínimo	0,18	0,09	-0,06	-0,15
Máximo	0,86	0,64	0,17	0,08
CV ² (%)	5,19	5,56	14,29	-200,00
24/11/2022				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,88	0,66	0,09	-0,002
DP ¹	0,03	0,03	0,01	0,01
Mínimo	0,19	0,11	-0,09	-0,16
Máximo	0,92	0,71	0,18	0,10
CV ² (%)	3,41	4,55	11,11	-500,00
29/12/2022				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,86	0,67	0,16	0,01
DP ¹	0,05	0,07	0,02	0,01
Mínimo	0,33	0,18	-0,03	-0,14
Máximo	0,95	0,81	0,27	0,12
CV ² (%)	5,81	10,45	12,50	100,00
08/01/2023				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,84	0,62	0,11	-0,001
DP ¹	0,06	0,07	0,02	0,01
Mínimo	0,28	0,18	-0,09	-0,18
Máximo	0,94	0,76	0,23	0,14
CV ² (%)	7,14	11,29	18,18	-1000,00
18/01/2023				
Parâmetros	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDRE B7
Média	0,63	0,36	0,06	-0,009
DP ¹	0,07	0,07	0,016	0,012
Mínimo	0,31	0,13	-0,07	-0,17
Máximo	0,88	0,66	0,16	0,06
CV ² (%)	11,11	19,44	26,67	-133,33

(¹) DP: desvio padrão; (²) CV (%): coeficiente de variação.

Os valores de coeficientes de variação (CV) conforme Pimentel-Gomes e Garcia (2002), podem ser: baixo, quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, quando entre 20 e 30%; e muito alto, quando são superiores a 30%. Verifica-se na Tabela 2 que na data de 25/10/2022 e 18/01/2023 o CV foi médio para o NDVI e NDRE B5. Nas demais datas o CV para o NDVI foi considerado baixo. Para o NDRE o CV foi baixo nas datas de 09 e 24/11 e médias para 29/12/2022 e 08/01/2023. O NDRE B6 variou de médio a alto e o NDRE B7 muito alto.

Os dados médios de NDVI sempre foram maiores que o NDRE B5 (Tabela 2), indicando que o primeiro capta mais cedo (04/11/2022) possíveis crescimentos de biomassa das culturas, ao mesmo tempo atinge ponto máximo de saturação mais cedo, que foi observado na data de 24/11/2022. Mesmo quando o NDVI esteve em 0,88, o NDRE médio não passou de 0,67.

Existe um limite de área foliar para que ocorra detecção de alterações na reflectância de um dossel, sendo que, quando esse limite é ultrapassado, não há mais alterações nas reflectâncias, ocorrendo a saturação dos IV (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007 apud VAREIRO, 2020).

Os dados de NDRE B6 e B7 ficaram muito distantes da realidade do NDVI e NDRE na banda 5. Não podendo ser utilizados para avaliação do crescimento das culturas na classificação proposta.

Entende-se que o NDVI mensura o brilho referente a coloração verde e a umidade do solo, com base nisso os valores gerados indicam o estado de saúde da vegetação em análise, ou seja, a diferença entre as reflectâncias das bandas do vermelho e do infravermelho será tanto maior quanto mais verde for a vegetação, no caso do pigmento clorofila, pois o NDVI é mais sensível à presença dos pigmentos, que são responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (PEREIRA et al., 2016).

Nas Figuras de 3 a 8 verifica-se os índices de vegetação NDVI, NDRE B5, NDRE B6 e NDRE B7, na classificação proposta de: <0,2; 0,2 a 0,4; 0,4 a 0,6; 0,6 a 0,8 e >0,8. A fim de identificação do desenvolvimento de plantas valores de NDVI menor que 0,2 indicam solo exposto ou palhada; de 0,2 a 0,4 indica palhada no solo; de 0,4 a 0,6 verifica-se desenvolvimento inicial de culturas; de 0,6 a 0,8 tem as culturas em atividade vegetativa e acima de 0,8 a planta estão em plena atividade fotossintética. Ao analisar o NDRE B5, verifica-se que na classificação proposta atende, mas a interpretação deve-se observar como uma classe anterior no NDVI.

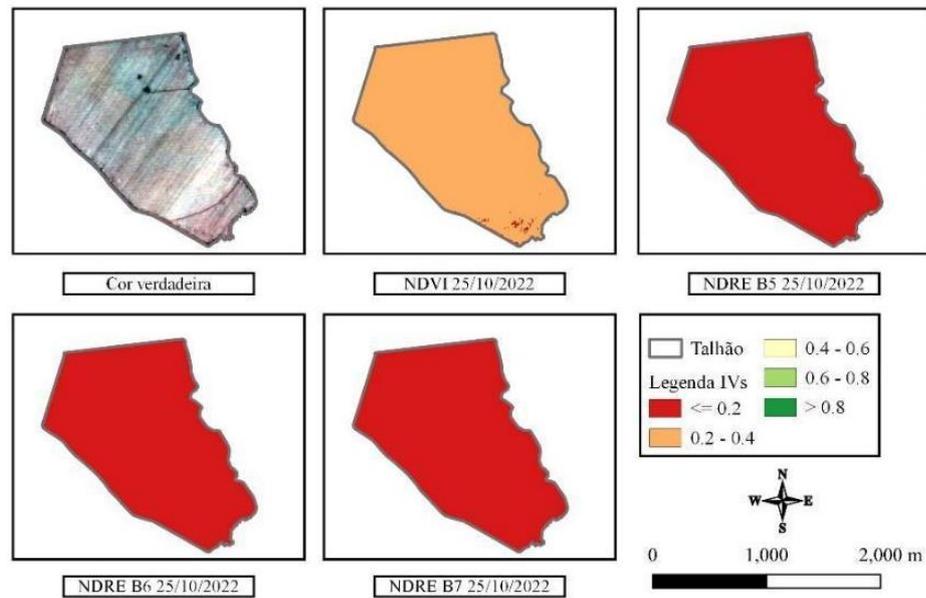


FIGURA 3. Índices de vegetação da cultura da soja na data 25/10/2022.

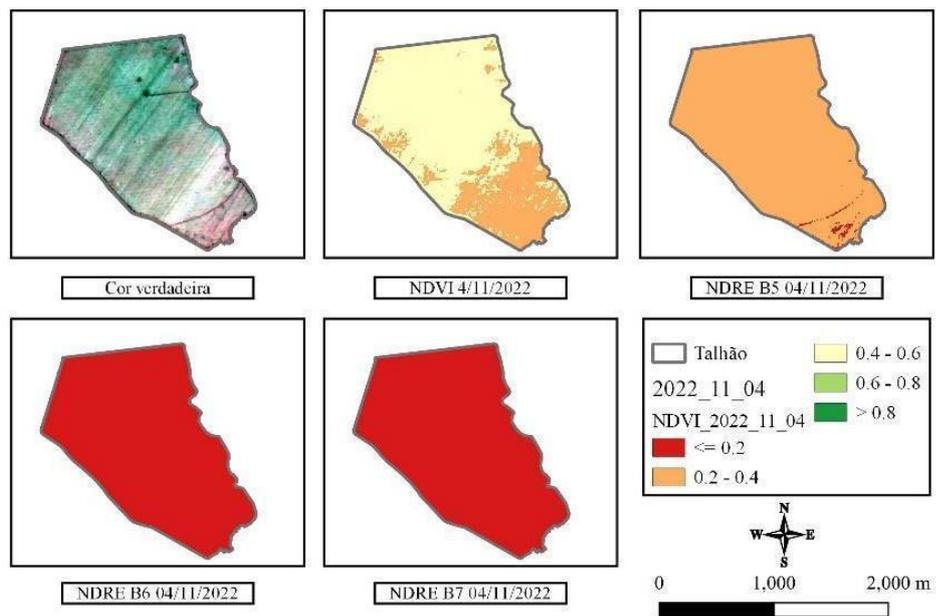


FIGURA 4. Índices de vegetação da cultura da soja na data 04/11/2022.

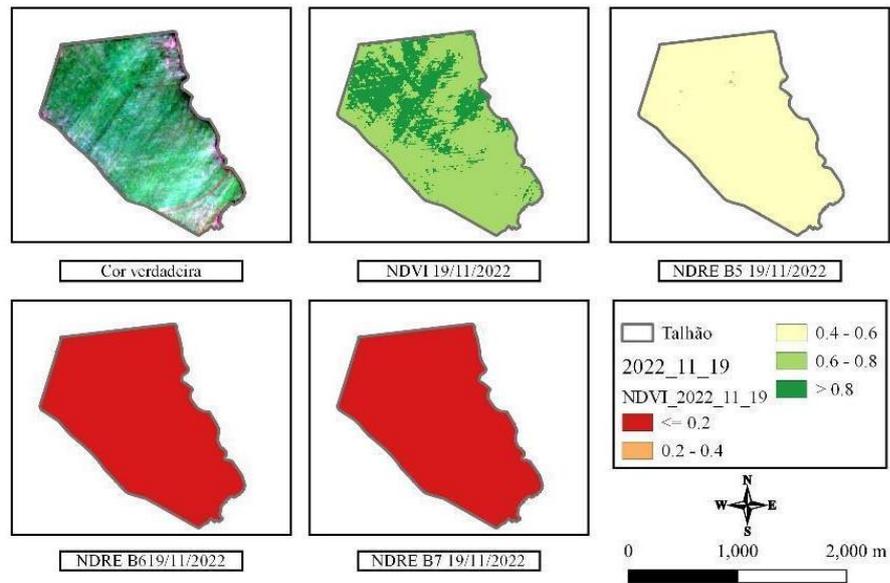


FIGURA 5. Índices de vegetação da cultura da soja na data 19/11/2022.

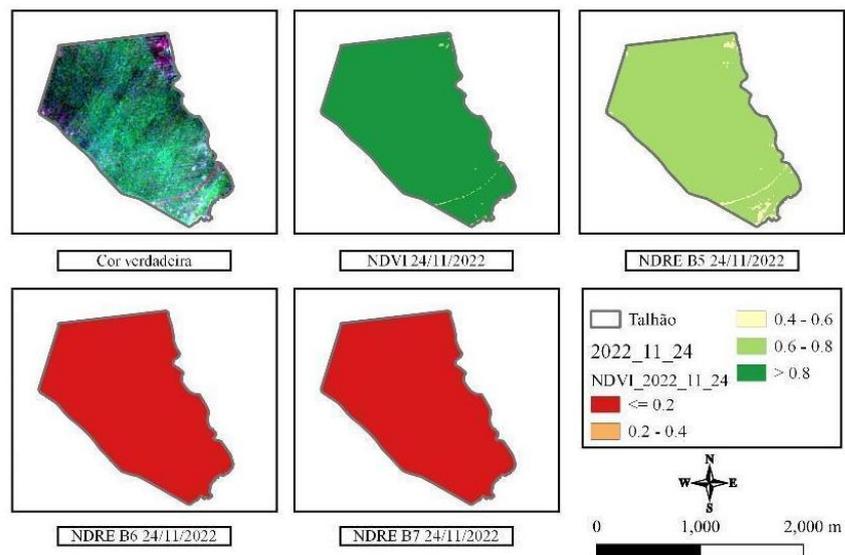


FIGURA 6. Índices de vegetação da cultura da soja na data 24/11/2022.

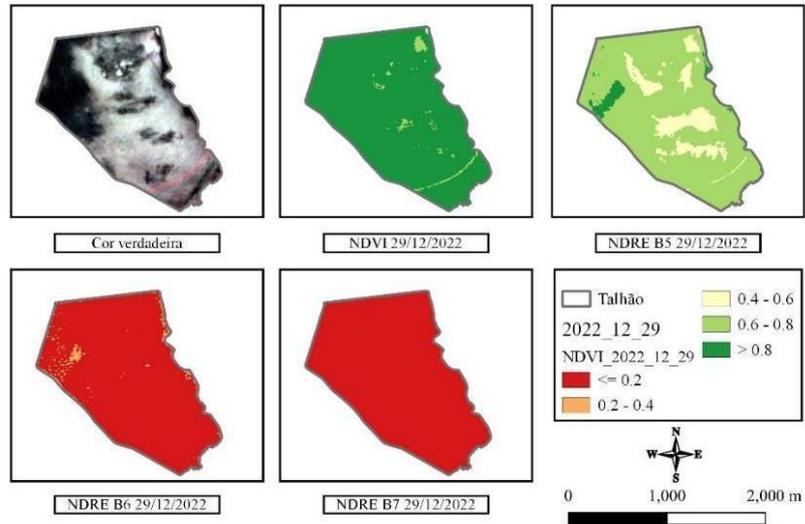


FIGURA 7. Índices de vegetação da cultura da soja na data 24/12/2022.

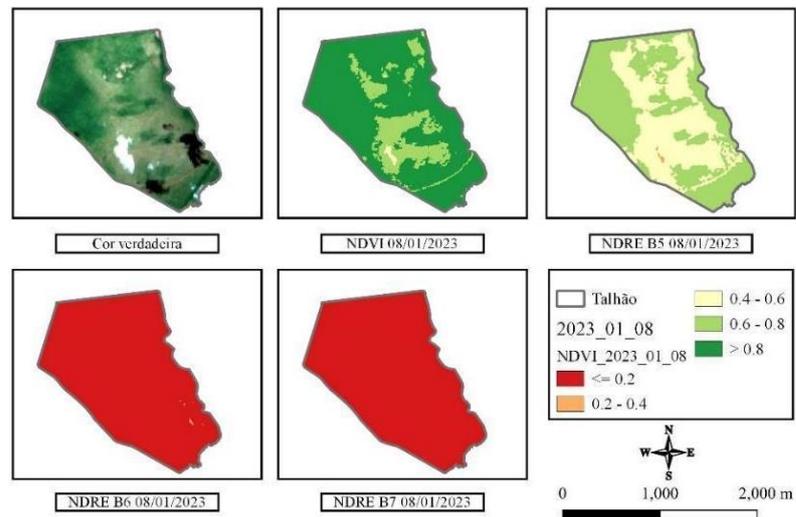


FIGURA 8. Índices de vegetação da cultura da soja na data 08/01/2023.

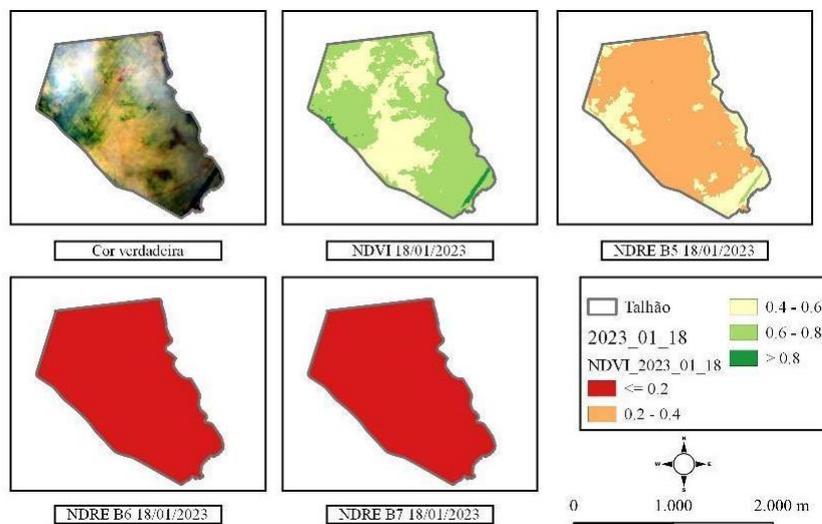


FIGURA 9. Índices de vegetação da cultura da soja na data 18/01/2023.

As Figuras 4 (04/11), 5 (19/11) e 6 (24/11) mostram a evolução do NDVI e da cultura. Saindo da faixa de 0,4 chegando ao ponto de saturação, 0,8. Nas Figuras 7, 8 e 9 observa-se uma regressão do índice NDVI com início de amarelecimento, mais visível na Figura 9 e no NDRE B5. Na Figura 8 e 9, verifica-se pela imagem de cor verdadeira uma pequena nuvem na área, localizada a sudoeste e nordeste, respectivamente. Verifica-se que a sombra da nuvem não afeta o cálculo do NDVI e NDRE, mas a nuvem em si, afeta o cálculo.

As correlações entre o NDVI e os NDRE estão apresentados na Tabela 3. Verifica-se correlação muito forte (Ferreira, 2018) do NDVI com o NDRE B5 em todas as datas avaliadas. Já para as bandas B6 e B7 de fraca a moderada nas datas de 25/10; 04/11; 19/11 e 24/11; enquanto que nas datas de 29/12, 08/01 e 18/01 o NDRE B6 foi forte e o NDRE B7 bem fraca. Assim, o NDRE B6 se aproxima mais do NDVI do que o NDRE B7.

Tabela 3. Correlação linear do NDVI da cultura da soja com os NDRE.

Índices	25/10/2022			04/11/2022		
	NDVI	NDRE B5	NDRE B6	NDVI	NDRE B5	NDRE B6
NDRE B5	0,95**			0,96**		
NDRE B6	0,29**	0,42**		0,36**	0,42**	
NDRE B7	0,05	0,13**	0,84**	0,17**	0,20**	0,90**
	19/11/2022			24/11/2022		
NDRE B5	0,97**			0,96**		
NDRE B6	0,64**	0,61**		0,67**	0,68**	
NDRE B7	0,42**	0,34**	0,88**	0,49**	0,43**	0,91**
	29/12/2022			08/01/2023		
NDRE B5	0,96**			0,95**		
NDRE B6	0,91**	0,90**		0,71**	0,78**	
NDRE B7	0,17**	0,02**	0,42**	0,16**	0,15**	0,67**
	18/01/2023					
NDRE B5	0,95**					
NDRE B6	0,71**	0,78**				
NDRE B7	0,16**	0,15**	0,67**			

** Significativo a 1% pelo teste p ($p > 0,01$)

5 CONCLUSÕES

A banda B5 do satélite Sentinel 2 é importante para determinação dos valores do NDRE e também para análise e comparação com o NDVI, de acordo com as correlações positivas e significativas observadas

O NDVI devido ao menor coeficiente de variação apresentado, parece ser mais estável para análise da cultura da soja, quando comparado ao NDRE, assim permitindo uma análise por mais tempo do desenvolvimento da cultura.

As bandas B6 e B7 do satélite Sentinel 2 não se mostraram aptas para uso do cálculo do NDRE e na classificação proposta dos índices de vegetação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, G. K.; ROCHA, J. V; LAMPARELLI, R. A. C. Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo ECMWF, no estado do Paraná. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Campinas. Anais XV. Curitiba: Inep, 2011. p. 0254-0260. Disponível em: <http://mar.te/dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/06.28.18.30/doc/p0551.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BARNES, E.M.; CLARKE, T.R.; RICHARDS, S.E.; COLAIZZI, P.D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R.J.; LI, H.; MORAN, M.S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data . *Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington, MN, USA, 2000*. P.16-19.

BASSOI, L. H; INAMASU, R. Y; BERNARDI, A. C. C; VAZ, C. M. P; SPERANZA, E. A; CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. *Teccogs: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas*, São Carlos, n. 20, p. 17-36, 26 maio de 2020. Pontifical Catholic University of São Paulo (PUC-SP). <http://dx.doi.org/10.23925/1984-3585.2019i20p17-36>. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1121544>. Acesso em: 21 fev. 2023.

BERTOLIN, N. O.; FIGUEIRAS, R.; VENÂNCIAO, L. P.; MANTOVANI, E. C. Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, n.4, p. 1627 - 1638, 2017.

BLOSFELD, L. H. CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E NDRE COM A PRODUTIVIDADE DO MILHO SEGUNDA SAFRA. 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso Campus Universitário de Sinop, Sinop, 2018.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. Aumento de 20,6% na produção de soja impulsiona safra de grãos, estimada em 309,9 milhões de toneladas. 2023. Acesso em: 29 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Agricultura de precisão / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília: Mapa/ACS, 2009. 31 p. Acesso em: 10 set. 2022.

CARNEIRO, F. M. SENSORES DE DOSSEL NO MONITORAMENTO DA VARIABILIDADE TEMPORAL DAS CULTURAS DA SOJA E DO AMENDOIM. 2018. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.

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

GRISSE, R. D.; ALLEY, M. M.; MCCLELLAN, P.; BRANN, D. E.; DONOHUE, S. J. *Precision farming: a comprehensive approach*. Virginia Cooperative Extension, Publication 442-500, 2009.

GUIA CLIMA. Estação UFGD - Dourados/MS. Disponível em: <https://clima.cpaembrapa.br/>. Acesso em: 17 de jan. de 2023.

HIRAKURI, M. H; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. – Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p. Acesso em: 11 set. 2022.

HIRAKURI, M. H; LORINI, I; FRANÇA NETO, J. B; KRZYZANOWSKI, F. C; HENNING, A. A; HENNING, F. A; MANDARINO, J. M. G; OLIVEIRA, M. A; BENASSI, V. T. Análise de aspectos econômicos sobre a qualidade de grãos de soja no Brasil. 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187998/1/CIRCULAR-TECNICA-145.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2023.

JANEQUE, R. A., COSTA, N. L., & SANTANA, A. C. Cultivo de soja no continente africano: evidências contemporâneas baseadas em produtores moçambicanos. *Revista de Economia e Sociologia Rural*. 2021, v. 59, n. 2 [Acessado 14 Setembro 2022] , e217894. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.217894>>. Epub 23 Out 2020. ISSN 1806-9479. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.217894>.

JENSEN, J. R. (2009) Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 598p.

JESUS, S. C; MIURA, A. K. Análise de regressão linear múltipla para estimativa do índice de vegetação melhorado (EVI) a partir das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, São José dos Campos. Anais XIV. Natal: Inpe, 2009. p. 1103-1110. Disponível em: <http://mar.tecnico.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.19.40/doc/1103-1110.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MERCIER, A.; BETBEDER, J.; BAUDRY, J.; LE ROUX, V.; SPICHER, F.; LACOUX, J.; ROGER, D.; HUBERT-MOY, L. *Evaluation of Sentinel-1 & 2 time series for predicting wheat and rapeseed phenological stages*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, [s.l.], v. 163, p. 231- 256, Mar 2020. DOI. 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.009.

PEREIRA, L. da S.; SILVA, D. de O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: Menezes, P. R.; Madeira Netto, J. S. (orgs.) Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília-DF: UnB/Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

PUSCH, M.; MACHADO, T.P.; AMARAL, L.R. Introdução a Agricultura de Precisão, 03/2019. Disponível em:<www.feagri.unicamp.br/gitap>. Acesso em: 10 Setembro. 2022.

OVADO, G.; SAYAGO, S.; BOCCO, M. *Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v. 138, p. 208-217, 2018.

REZENDE, P. T; MARQUES, D. V; ROSA, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da reflectância aparente e da superfície. Uberlândia: Inpe, 2017. 8 p. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.13.43/doc/59546.pdf>. Acesso em: 11 set. 2022.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2021/2022, em Mato Grosso do Sul. Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2021.

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.

SILVA, C. D. CULTURA DA SOJA (*Glycine max*): uma abordagem sobre a viabilidade do cultivo no município de Ribeira do Pombal (BA). 2021. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Agrônoma, Centro Universitário Ages, Paripiranga, 2021.

VAREIRO, R. B. Avaliação de características agrônomicas em soja por sensor ativo de vegetação e câmera multiespectral embarcada em aeronave remotamente pilotada. 2020. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura de Precisão, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/23561/DIS_PPGAP_2020_VAREIRO_RAPHAEL.pdf?sequence=1. Acesso em: 15 mar. 2023.

VIAN, A. L. Sensores de vegetação para estimativa in situ do potencial produtivo na cultura do milho. Porto Alegre, 2015. 68 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.