

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

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA CULTURA DA CANA-
DE-AÇÚCAR EM IMAGENS DE SATÉLITE**

LUCIANA APARECIDA MAURICIO DA SILVA

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2023**

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA CULTURA DA CANA-DE- AÇÚCAR EM IMAGENS DE SATÉLITE

Luciana Aparecida Mauricio da Silva

Orientadora: Prof. Dr^a. Anamari Viegas de Araujo Motomiya

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

Dourados
Mato Grosso do Sul
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S586c Silva, Luciana Aparecida Mauricio Da
Comportamento Espectral Da Cultura Da Cana-de-açúcar Em Imagens De Satélite [recurso eletrônico] / Luciana Aparecida Mauricio Da Silva. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Anamari Viegas De Araujo Motomiya.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Geoprocessamento. 2. Cana-de-açúcar. 3. Agricultura de precisão. 4. Índices de vegetação. I. Motomiya, Anamari Viegas De Araujo. 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.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA CULTURA DA CANA-DE- AÇÚCAR EM IMAGENS DE SATÉLITE

Por

Luciana Aparecida Mauricio da Silva

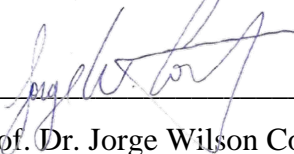
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRA AGRÍCOLA

Aprovado em: 08 de setembro de 2023.



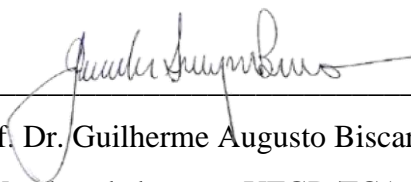
Prof. Dr. Anamari Viegas de Araujo Motomiya

Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez

Membro da banca – UFGD/FCA



Prof. Dr. Guilherme Augusto Biscaro

Membro da banca – UFGD/FCA

Dedicatória

Ao meu pai João da Silva (*in memoriam*)
À minha mãe Aparecida Maurício da Silva
Ao meu filho João Emanuel de Souza Rosa
À minha irmã Francieli Maurício da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me permitir chegar até aqui, diante tantas dificuldades e desafios encontradas e superadas para finalizar mais essa etapa da minha vida.

Agradeço aos meus amados pais João da Silva (*in memoriam*) e Aparecida Mauricio da Silva por toda base que me deram, todo esforço e dedicação para que eu pudesse chegar à graduação e que eu pudesse concluir.

Ao meu amado filho que, desde sua chegada aqui na Terra, foi minha força para não desistir dessa jornada acadêmica, meu incentivo diário. À minha amada irmã Francieli Mauricio da Silva, por sempre me apoiar, ajudar naquilo que podia e estar ao meu lado nesses anos.

A todos os meus professores, pois sem eles nada seria possível, professores são a base da evolução e todos merecem mais do que um agradecimento. Em especial, à minha Orientadora, Prof. Dr. Anamari Viegas de Araujo Motomiya, que teve paciência em me orientar nesse longo período.

À Universidade Federal da Grande Dourados e ao Senhor Marcio Verunes por conceder as coordenadas de sua propriedade rural, sendo assim possível realizar o estudo e gerar material de pesquisa necessário para a realização e finalização desse trabalho.

Às minhas amigas Rayane Moreno Waterkemper, Tainá Ribeiro Rodrigues Pleutin e Barbara Caroline Ferreira que estiveram comigo nessa trajetória acadêmica dando apoio e ajuda mútua, pelo coleguismo e companheirismo.

E a todos os amigos e familiares que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, desta trajetória acadêmica, enriquecendo o meu processo de aprendizado acadêmico, possibilitando me tornar uma profissional dedicada e não me permitindo desistir diante as dificuldades.

SILVA, L. A. M. **Comportamento Espectral da Cultura da Cana-de-açúcar em Imagens de Satélite**. 2023. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2023.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, tendo grande relevância no setor do agronegócio brasileiro devido sua alta importância econômica, isso devido ao aumento da demanda mundial por etanol e consumo de açúcar pelo mundo. A região Centro-Oeste é a maior produtora do País e possui alta aptidão para o cultivo da cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar a assinatura espectral da cultura da cana-de-açúcar, proveniente das imagens dos *Cbers-4* e *Landsat-8* e calcular índices de vegetação. Foram utilizadas as coordenadas (21°20'16''S 54°25'41''W) de uma propriedade rural, da microrregião de Nova Alvorada do Sul – Mato Grosso do Sul. As imagens foram coletadas a partir de novembro de 2020 até o final do mês de maio de 2021, obtidas no site *GloVis* administrado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), como também no site Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e no site *Copernicus Open Access Hub* administrado pela Agência Espacial Europeia (ESA). O processamento das imagens foi realizado no *software* livre QGIS 3.16.4, onde foram georreferenciadas na projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator*, DATUM - SIRGAS 2000, zona 21, Hemisfério Sul. A utilização de dois satélites possibilitou uma boa visualização do estado da cultura, sendo que o satélite *Cbers-4* apresentou melhores resultados com maior nitidez e qualidade das imagens. Entre os índices avaliados, o GNDVI apresentou resultados melhores quando comparados aos de NDVI, devido demonstrar mais clareza sobre as variações da vegetação comparando-as aos resultados das composições coloridas.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Cana-de-açúcar. Agricultura de precisão. Índices de vegetação.

SILVA, L. A. M. **Spectral behavior of sugarcane crop in satellite images.** 2023. 30 f. Completion of course work (Bachelor of Agricultural Engineering) – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2023.

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugar cane, having great relevance in the Brazilian agribusiness sector due to its high economic importance, due to the increase in global demand for ethanol and sugar consumption around the world. The Central-West region is the largest producer in the country and has great aptitude for cultivating the crop. The objective of this work was to evaluate the spectral signature of sugarcane crops, based on Cbers-4 and Landsat-8 images, and calculate vegetation index. The coordinates (21°20'16''S 54°25'41''W) of a rural property were used, in the microregion of Nova Alvorada do Sul – Mato Grosso do Sul. Images were collected from November 2020 until the end of May 2021, obtained on the GloVis website managed by the United States Geological Survey (USGS), as well as on the Image Catalog website of the National Institute for Space Research (INPE) and on the Copernicus Open Access Hub website managed by the European Space Agency (ESA). The images were processed in the free software QGIS 3.16.4, where they were georeferenced in the Universal Transverse Mercator cartographic projection, DATUM - SIRGAS 2000, zone 21, Southern Hemisphere. The use of two satellites allowed a good visualization of the state of the crop, with the Cbers-4 satellite presenting better results with greater clarity and image quality. Among the indexes evaluated, the GNDVI presented better results when compared to the NDVI, as it demonstrated greater clarity about the variations in vegetation compared to the results of the colored compositions.

Keywords: Geoprocessing. Sugarcane. Precision agriculture. Vegetation index.

SUMÁRIO

	Página
1 Introdução.....	1
2 Revisão de literatura.....	3
2.1 Agricultura de precisão.....	3
2.2 Sensoriamento remoto.....	3
2.3 Índice de vegetação.....	3
2.4 Geoprocessamento	4
2.5 Comportamento espectral.....	5
3 Materiais e métodos.....	6
3.1 Coleta de dados.....	6
3.2 Tratamento inicial dos dados.....	8
3.2.1 Software utilizado	8
3.3 Índices de vegetação	9
3.3.1 Índices de vegetação NDVI.....	9
3.3.2 Índices de vegetação GNDVI.....	9
4 Resultados e discussão.....	10
4.1 Composições coloridas.....	10
4.2 Índices de vegetação.....	12
4.2.1 Cálculo do índice de vegetação NDVI.....	12
4.2.2 Cálculo do índice de vegetação GNDVI.....	14
4.2.3 Comparativo entre os índices de vegetação NDVI e GNDVI.....	15
5 Conclusões.....	18
6 Referências bibliográficas.....	19

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, na condição de maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com produção na safra de 2019/2020 de aproximadamente 667 milhões de toneladas, representa para o segmento crescente relevância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, torna o País um participante na comercialização mundial com elevada competitividade. (CONAB, 2019).

A região Centro-Oeste possui alta aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, por haver solo e clima adequado, favorecendo assim uma elevada produção. A cultura tem grande importância econômica, o país tem se destacado pelo grande potencial para a agricultura de energia a partir de biocombustíveis. Além de seu uso comercial para açúcar, etanol e eletricidade nas usinas, a cultura é muito utilizada na agricultura familiar, em território nacional, como fonte de alimento para os animais ou como matéria-prima para a cachaça artesanal e açúcar mascavo, gerando emprego e renda (MARIN e NASSIF, 2013).

Conforme enfatizaram Hasmann *et al.* (2014), o sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas que possibilita a obtenção de informações sobre alvos na superfície terrestre. Esses alvos podem ser objetos, áreas ou fenômenos, e sua captação se dá através do registro da interação da radiação eletromagnética com a superfície, realizado por sensores distantes ou remotos. Na agricultura, a maioria dos indicadores de sensoriamento remoto vem de índices fotométricos construídos com bandas de passagem de banda larga conhecidas como índices de vegetação. A *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) é uma das maiores captadoras de imagens recebidas por seus satélites. No Brasil, o principal órgão que atua nesta área é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O comportamento espectral é uma função dos comprimentos de onda da luz da irradiância solar que são absorvidos ou refletidos. Os índices de vegetação são uma forma de ressaltar o comportamento espectral da vegetação, esse facilita a visualização da cultura em seus diferentes estágios. Estes podem ser obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da energia eletromagnética (EEM), principalmente em duas faixas específicas de comprimento de onda: visível (350-700 nm) e infravermelho próximo (730-1.100 nm). Essas reflectâncias, por vezes, são medidas por diversos aparelhos como, por exemplo, os espectrorradiômetros (KÄFER *et al.*, 2016).

As imagens de satélites têm sido amplamente utilizadas para analisar áreas de cultivo muito grandes. Mas existem algumas limitações básicas nesta perspectiva. O primeiro é a falta

de imagens oportunas durante a época crítica da safra, estação de crescimento ativo quando nublado torna rara chance de janela de aquisição de imagem com boa qualidade. A segunda são as dificuldades para chegar a um ponto favorável de compensação entre resolução espacial e espectral e custo de dados (GUO; KUJIRAI; WATANABE, 2012). À diversos satélites disponíveis para se fazer estudos e análises em geral, assim, a combinação de modernos sensores de alta resolução espacial e banda multiespectral oferece a possibilidade de estudar culturas para agricultura de precisão (PRIMICERIO et al., 2012).

Segundo Braz; Garcia; Barros (2019), O satélite *Cbers-4* possui quatro sistemas imageadores, enquanto o satélite *Landsat-8* opera com dois instrumentos imageadores, o *Operacional Terra Imager (OLI)* e *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a assinatura espectral da cultura da cana-de-açúcar, proveniente das imagens dos *Cbers-4* e *Landsat-8* e calcular os índices de vegetação NDVI e GNDVI, conforme a disponibilidade das bandas espectrais de cada sensor, de forma a avaliar a variabilidade espacial da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

De acordo com Molin (2004), a Agricultura de precisão possui várias formas de abordagem e pode ser praticada em diferentes níveis de complexidade. Porém, sempre com o mesmo objetivo, como utilizar estratégias para solucionar os problemas da desuniformidade das lavouras, tornando o processo produtivo mais rentável e reduzindo os prejuízos. Como por exemplo, no Brasil a prática mais utilizada é a gestão da adubação das lavouras com base na amostragem georreferenciada dos solos.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Novo e Ponzoni (2001), o nascimento do sensoriamento remoto (SR) está relacionado com a invenção da câmera fotográfica, sendo esse o primeiro instrumento utilizado, e até os dias atuais são utilizadas para tomada de fotos aéreas.

De acordo com Menezes e Almeida (2012), a definição mais científica o sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre, pela detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnéticas e os objetos terrestre. O objeto imageado é registrado pelo sensor por meio das medições da radiação eletromagnética, como por exemplo a luz solar que reflete da superfície de qualquer objeto. Dessa maneira, nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto.

2.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

De maneira geral, os índices de vegetação têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa. Os avanços tecnológicos permitem analisar, através de imagens de satélites, a distribuição espacial de áreas cultivadas, as possíveis modificações da cobertura vegetal em diversas épocas, possibilitando o monitoramento das áreas vegetadas LIRA, Vanda et al. (2009).

Segundo NOVO (2010), os sensores remotos são dispositivos capazes de registrar a radiação eletromagnética, e a principal forma dessa energia para o sensoriamento remoto é a gerada pelo sol, que é expressa em termos de comprimento de ondas, espectro eletromagnético, dividido em regiões ou faixas e suas respectivas características.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é um índice muito utilizado obtido das imagens de satélites, pois, reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1; os valores próximos de +1 indicam a presença de vegetação, quanto maior o valor do índice, maior será a presença de vegetação. Enquanto os valores próximos a -1 representarão os alvos urbanos, solo exposto e água. Uma peculiaridade atribuída é sua rápida saturação que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento, ou seja, o índice estabiliza em um patamar apresentando um mesmo valor, embora ocorra o aumento da densidade do dossel (PRATES, 2020; ZANZARIN et al. 2013).

2.4 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é o conjunto de tecnologias que são destinadas a realizar a coleta e o tratamento de informações espaciais, desenvolvendo novos sistemas e aplicações, em diferentes níveis de sofisticções. O mesmo pode ser aplicado aos profissionais que trabalham com cartografia e processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Podem ser usadas, na maioria das vezes, as mesmas características de hardware, porém software distinto (Rosa e Brito, 2013).

Segundo Teixeira et al. (1992) e Rosa; Brito (2013), os SIG's – Sistemas de Informações Geográficas incluem-se no ambiente tecnológico que se convencionou chamar de geoprocessamento, cuja área de atuação envolve a coleta e tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, destinados à implementação de sistemas com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas nos mais diversos ramos das geociências.

2.5 COMPORTAMENTO ESPECTRAL

O fluxo de energia eletromagnética ao atingir um objeto (energia incidente) sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletido, absorvido e transmitido pelo objeto. O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto

dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. A vegetação sadia apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível, a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração verde da vegetação (MORAES, 2001).

A região espectral entre 700 nm e 1.300 nm apresenta altos valores de reflectância e baixos valores de absorção devido à composição da estrutura interna das folhas verdes saudias. Os níveis de reflectância tornam a diminuir à medida que se avança para a faixa do Infravermelho de Ondas Curtas (SWIR), e podem ser indicativos do conteúdo de água presente nas folhas (Figura 1) (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

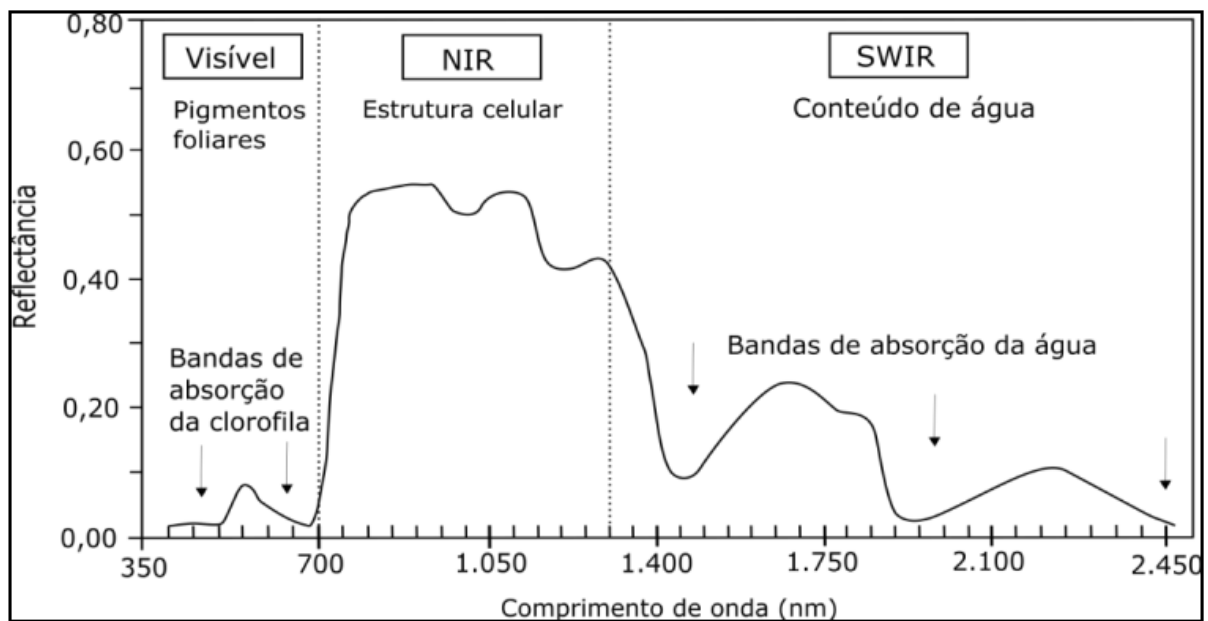


FIGURA 1: Comportamento espectral da vegetação.

Fonte: (Formaggio e Sanches, 2017)

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 COLETA DE DADOS

Para realização deste trabalho, os dados foram coletados em uma propriedade agrícola (21°20'16''S 54°25'41''W), na microrregião de Nova Alvorada do Sul – Mato Grosso do Sul, (Figura 2). As imagens foram coletadas no período de novembro de 2020 até o final do mês de maio de 2021.

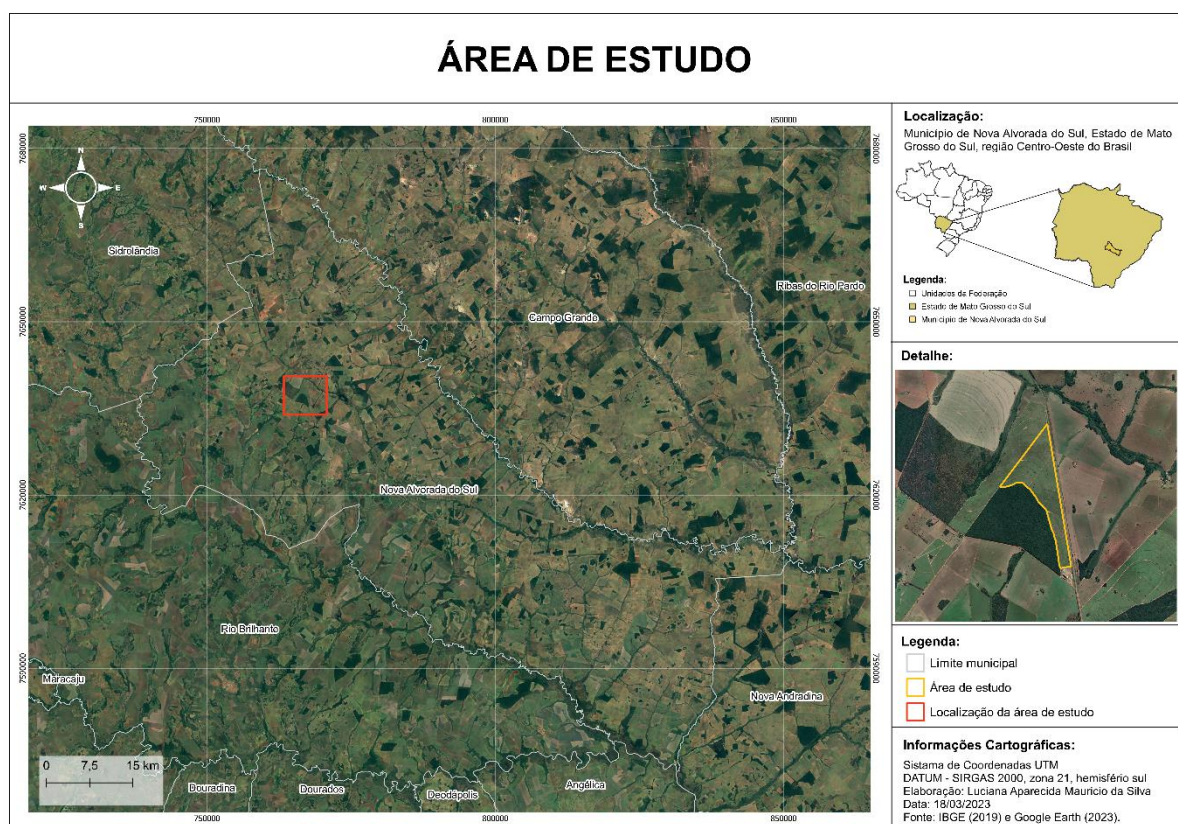


FIGURA 2: Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Google Earth, Autora, (2023)

Para ter acesso ao material de estudo, criou-se um cadastro no site *GloVis* administrado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), como também no site Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e no site *Copernicus Open Access Hub* administrado pela Agência Espacial Europeia (ESA), nos quais foram realizadas as escolhas das cenas e feitos seus respectivos *downloads*. Foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat-8*, sensor OLI e *Cbers-4*, sensor PAN.

O satélite *Landsat-8*, com o sensor *Operational Land Imager* (OLI), disponibiliza 9 bandas espectrais, com resolução espacial de 30 metros (bandas 1 a 7 e 9), além da banda pancromática, com 15m de resolução espacial; enquanto o sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) disponibiliza 2 bandas, com resolução espacial de 100 m (Tabela 1).

Tabela 1. Características das bandas do satélite *Landsat-8*

Bandas	Comprimento de onda (micrômetro)	Resolução (metro)
Banda 1 - Aerossol costeiro	0,43-0,45	30
Banda 2 – Azul	0,45-0,51	30
Banda 3 – Verde	0,53-0,59	30
Banda 4 – Vermelho	0,64-0,67	30
Banda 5 - infravermelho próximo (NIR)	0,85-0,88	30
Banda 6 - SWIR 1	1,57-1,65	30
Banda 7 - SWIR 2	2,11-2,29	30
Banda 8 – Pancromático	0,50-0,68	15
Banda 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
Banda 10 - infravermelho térmico (TIRS) 1	10,6-11,19	100
Banda 11 - infravermelho térmico (TIRS) 2	11,50-12,51	100

Fonte: (USGS, 2021).

TIRS – Sistema de Sensoriamento Térmico do Vermelho/ *NIR* – Infravermelho próximo / *SWIR* – Infravermelho de onda curta

O satélite *Cbers-4* possui solsinronicidade, que assegura uma uniformidade de iluminação durante o imageamento, pois o ângulo entre o plano da órbita e a linha que une o centro da Terra ao Sol é mantido constante durante toda a missão (EPIPHANIO, 2011). O *Cbers-4*, possui quatro sistemas imageadores conforme apresenta a (Tabela 2), a seguir.

Tabela 2. Características dos sensores do *Cbers-4*

Sensor	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial	Faixa Imageada	Resolução Radiométrica
MUX	B5: 0,45-0,52 (B) B6: 0,52-0,59 (G) B7: 0,63-0,69 (R)	20m	120km	8 bits

PAN	B8: 0,77-0,89 (NIR)	5 m/10 m	60km	8 bits
	B1: 0,51-0,85 (Pan)			
	B2: 0,52-0,59 (G)			
	B3: 0,63-0,69 (R)			
IRS	B4: 0,77-0,89 (NIR)	40 m/80 m (TIR)	120km	8 bits
	B9: 0,50-0,90 (Pan)			
	B10: 1,55-1,75 (SWIR)			
	B11: 2,08-2,35 (SWIR)			
WIF	B12: 10,40-12,50 (TH)	64M	866 km	10bits
	B13: 0,45-0,52 (B)			
	B14: 0,52-0,59 (G)			
	B15: 0,63-0,69 (R)			
	B16: 0,77-0,89 (NIR)			

Fonte: INPE (2014); EPIPHANIO (2011); BRAZ et al. (2019).

MUX – Multiplex, refere-se à multiplexação de sinais / **PAN** – Panchromatic, captura imagens de alta resolução em uma única banda panchromática, geralmente na faixa de luz visível / **IRS** – Indian Remote Sensing Satellite / **WIF** – Utiliza uma conexão WI-FI para transferir dados e resolução de 10 bits.

Os parâmetros principais para a escolha das cenas foram a cobertura de nuvens sobre o local de estudo e a disponibilidade de imagens na data de análise. Para o satélite **Landsat-8**, órbitas ponto 224/075 e 225/075, as imagens foram adquiridas em 16/11/2020, 21/02/2021 e 05/05/2021. As imagens do **Cbers-4**, órbita ponto 163/124, foram adquiridas em 24/03/21 e 15/05/2021.

3.2 TRATAMENTO INICIAL DOS DADOS

3.2.1 Software utilizado

As análises foram realizadas no *software* livre QGIS 3.16.4. Primeiramente, todas as bandas espectrais foram georreferenciadas na projeção cartográfica *Universal Transversa de Mercator*, DATUM - SIRGAS 2000, zona 21, hemisfério sul. Com os dados espectrais, foram geradas composições coloridas em cor verdadeira e falsa cor. Após, realizou-se o cálculo dos índices de vegetação, utilizando a ferramenta “calculadora raster” do *software* QGIS.

3.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

3.3.1 Índice de vegetação NDVI

Conforme Allen et al. (2002) e Rouse (1973) destacaram, o uso de imagens NDVI no realce da vegetação em relação às áreas urbanas, água e ao solo exposto. O NDVI é obtido pela razão entre a diferença da refletância na banda do infravermelho próximo (NIR) e a refletância na banda do vermelho (R), dividida, respectivamente, pela soma das mesmas, conforme Equação 1:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

- NIR – É a refletância na banda do infravermelho próximo;
- R – é a refletância na banda do vermelho.

3.3.2 Índice de vegetação GNDVI

O índice de vegetação da diferença normalizada do verde (GNDVI), pode ser obtido conforme Equação 2.

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR} - \text{V}) / (\text{NIR} + \text{V}) \quad (\text{Eq. 2})$$

onde,

- NIR – É a refletância na banda do infravermelho próximo
- V = faixa do espectro eletromagnético correspondente ao Verde.

Segundo Fernandes et al. (2009), o GNDVI tem tendência de valores de R^2 maiores nos modelos ajustados e dos maiores valores de correlação, que está relacionado com a variabilidade nos dados de vegetação, um valor R^2 próximo a 1 indica que o GNDVI é altamente capaz de explicar a variação na vegetação observada nos dados. Por outro lado, um valor de R^2 próximo de 0 significa que não está bem relacionado com a variação na vegetação e, portanto, não é um bom indicador. Nesse caso, mostra que o uso da banda verde é mais sensível para detectar os diferentes níveis nutricionais do que o uso da banda vermelha, para a cultura da cana-de-açúcar.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Na composição colorida falsa cor com as imagens do satélite *Landsat-8*, utilizando as bandas 5,4 e 3 do infravermelho próximo, vermelho e azul, respectivamente (RGB545), a vegetação reflete intensamente a energia eletromagnética no comprimento de onda relativo ao infravermelho próximo, aparecendo, portanto, em cores vermelhas. Essa composição foi escolhida pelo fato de ser mais indicada para análise de vegetação e as bandas serem compatíveis em ambos os satélites analisados.

O início do cultivo ocorre no mês de novembro de 2020 (Figura 3), podendo-se observar que a vegetação no interior do talhão (delimitado pela linha amarela) possui cor vermelha viva com uma textura levemente lisa. Em de fevereiro de 2021, a vegetação está em seu estágio mais avançado e é observada em uma coloração mais escura e textura mais rugosa que a anterior.

No mês de maio de 2021, a cultura apresenta-se em estágio final de crescimento/desenvolvimento, e observa-se o talhão com coloração e textura semelhantes às da primeira imagem. Porém, para esse caso em específico é devido ao sinistro de queimada que aconteceu no período, gerando a queima da cultura.

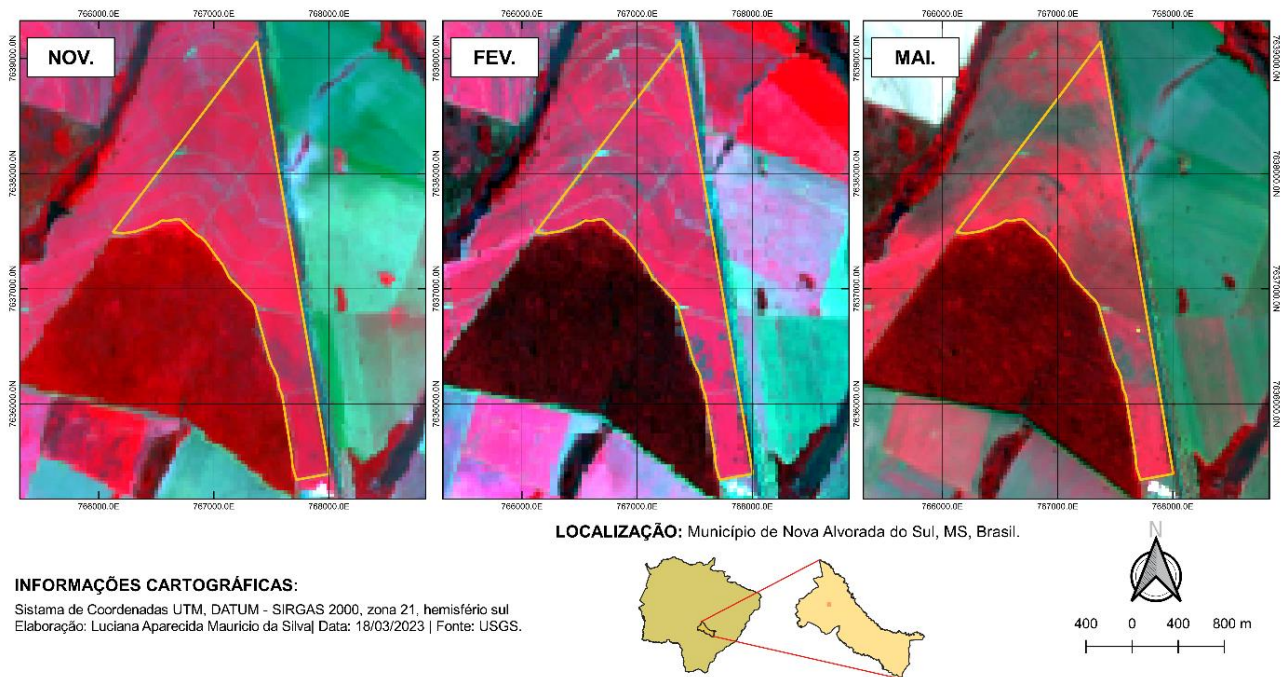
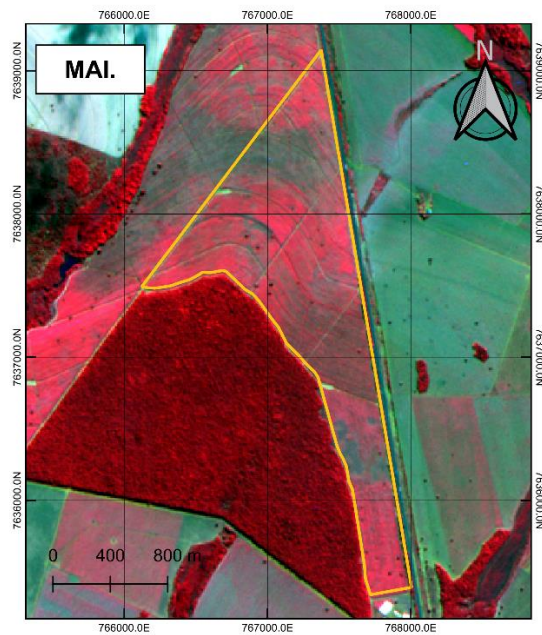
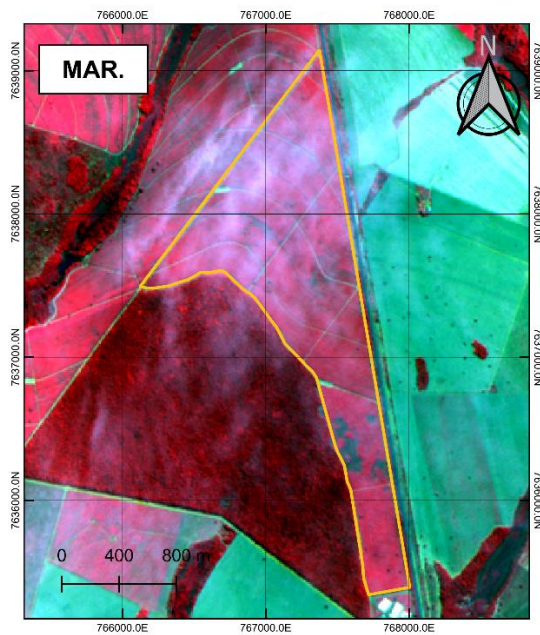


FIGURA 03. Composição RGB-543 imagens *Landsat-8*.

Fonte: Autora (2023)

Na (Figura 4) é possível observar a composição RGB em falsa cor para o satélite *Cbers-4*. Devido à dificuldade de encontrar imagens com boas condições climáticas para o período de estudo, as análises foram realizadas apenas para os meses de março de 2021 (denominado por MAR.) e maio de 2021 (denominado por MAI.). A imagem de março apresentou uma pequena quantidade de nuvens que comprometeu a visualização da área.



LOCALIZAÇÃO Município de Nova Alvorada do Sul, MS, Brasil.

INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS:

Sistema de Coordenadas UTM, DATUM - SIRGAS 2000, zona 21, hemisfério sul
Elaboração: Luciana Aparecida Mauricio da Silva | Data: 18/03/2023 | Fonte: INPE.

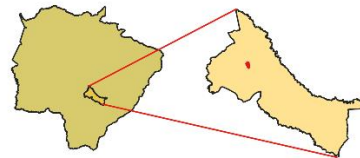


FIGURA 4. Composição RGB-432 imagens **Cbers-4**.

Fonte: Autora (2023)

4.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

4.2.1 Cálculo do índice de vegetação NDVI

A partir do uso do NDVI elaborado a partir das imagens do satélite **Landsat-8** e indicado na (Figura 5), nota-se a significativa mudança nos valores obtidos para a resposta da vegetação em relação ao seu estágio de cultivo.

Na imagem de novembro, observa-se que a resposta ficou na faixa de 0,33 a 0,44, indicando a fase inicial de cultivo; em fevereiro, a resposta ficou na faixa de 0,44 a 0,55, indicando o estágio mais avançado do cultivo, no qual a vegetação atingiu seu ápice. E por fim, a imagem de maio trouxe respostas nas faixas mais baixas ficando principalmente entre 0,10 e 0,33, indicando a colheita.

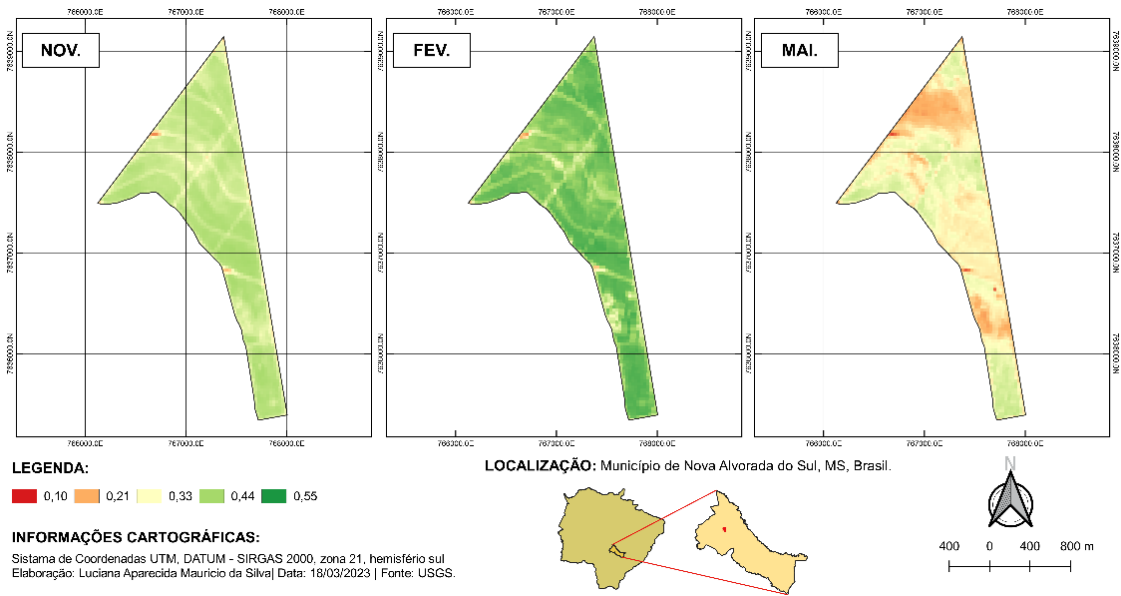


FIGURA 5. Índice de vegetação NDVI imagens *Landsat-8*.

Fonte: Autora (2023)

Na (Figura 6) é apresentado o NDVI obtido com os dados do satélite *Cbers-4*. Em março, os valores ficaram na faixa de 0,21 e 0,44, enquanto em maio os valores ficaram na faixa de 0,10 e 0,44.

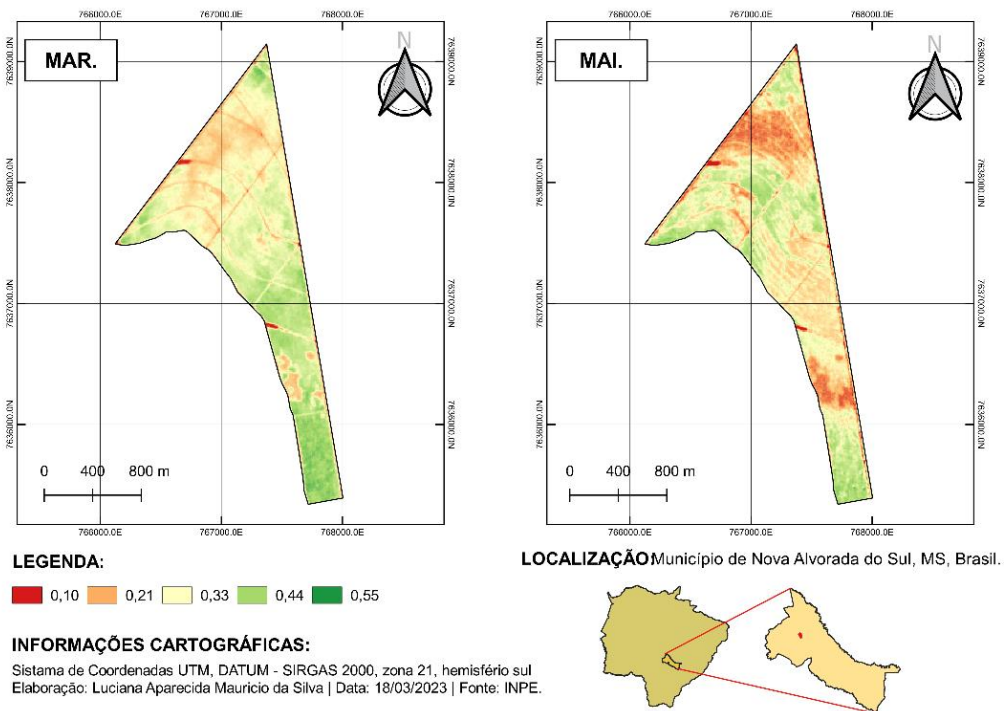


FIGURA 6. Índice de vegetação NDVI imagens *Cbers-4*.

Fonte: Autora (2023)

4.2.2 Cálculo do índice de vegetação GNDVI

Os resultados de GNDVI podem ser observados na (Figura 7), referente ao satélite *Landsat-8*, e na (Figura 8), referente ao satélite, *Cbers-4*. Em ambos os casos foi possível observar as mudanças na vegetação ao longo do tempo. Contudo, nota-se que para a área de estudo os resultados de NDVI apresentaram resultados melhores quando comparados aos de GNDVI, pois nas figuras anteriores foi possível avaliar com melhor clareza as variações da vegetação comparando-as aos resultados das composições coloridas.

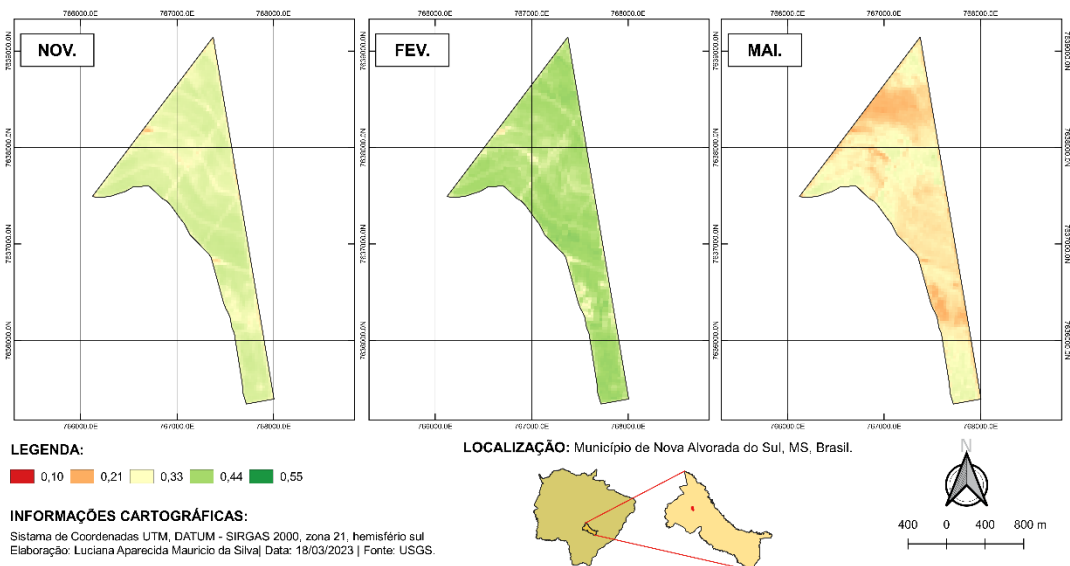


FIGURA 7. Índice de vegetação GNDVI imagens *Landsat-8*.

Fonte: Autora (2023)

Índices de vegetação GNDVI para o satélite *Cbers-4*, observa-se que para o mês de março á mais solo exposto, com redução da vegetação. Que nos traz o entendimento de que a cultura da cana-de açúcar passou por algum estresse,

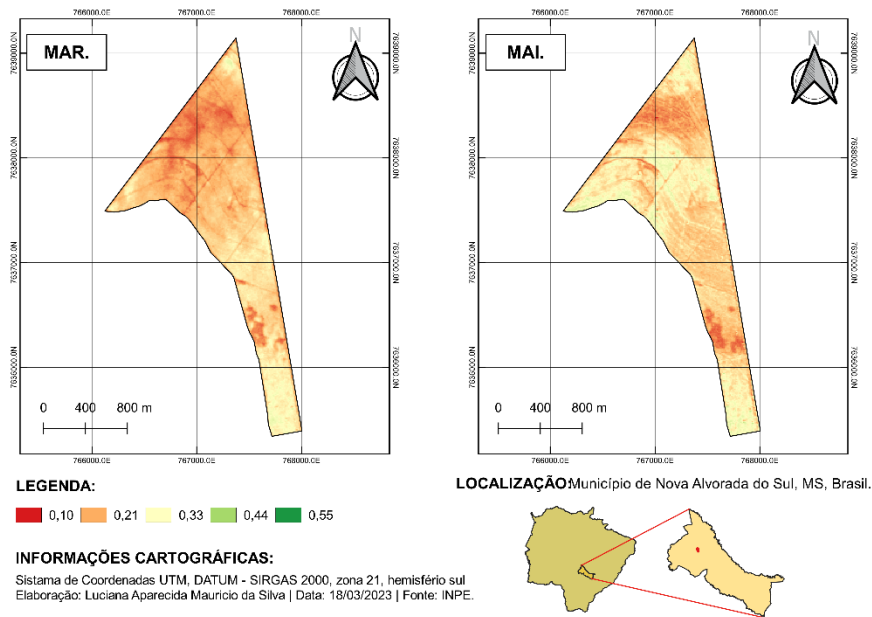


FIGURA 8. Índice de vegetação GNDVI imagens *Cbers-4*.

Fonte: Autora (2023)

4.2.3 Comparativo entre os índices de vegetação NDVI e GNDVI

Devido à cultura ter sofrido com o sinistro de incêndio, foi realizado o comparativo com relação aos dois índices de vegetação estudados, para o mês de maio. A (Figura 9) a seguir, são com base no índice de vegetação NDVI - índice de vegetação por diferença normalizada, também para o mês de maio. Observa-se que para este índice, o satélite *Cbers-4* (Figura da direita) apresentou melhor resultado, deixando mais evidenciado as áreas verdes e vermelhas dando assim, maior nitidez à visualização.

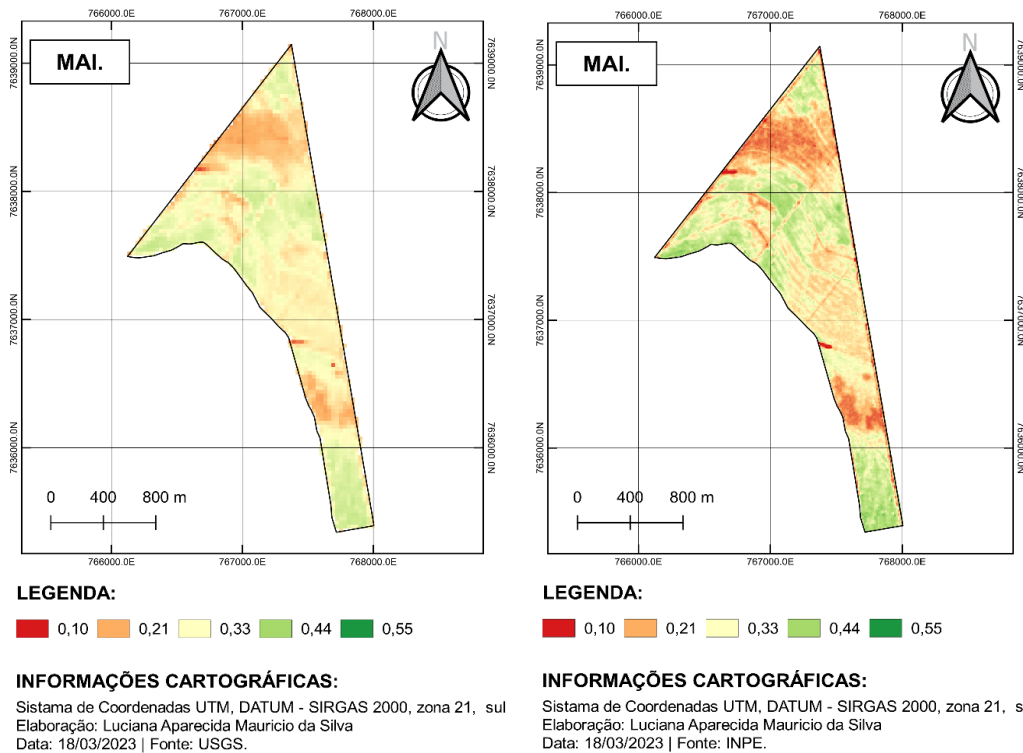


FIGURA 9. Comparativo em qualidade de imagens com o índice NDVI em imagens do *Landsat-8* e *Cbers-4*, respectivamente.

Fonte: Autora (2023)

O conforme a (Figura 10), e com base no índice GNDVI – índice de vegetação da diferença normalizada do verde, onde da esquerda para direita é com a imagem do *Landsat-8* e da direita para esquerda é com o *Cbers-4*.

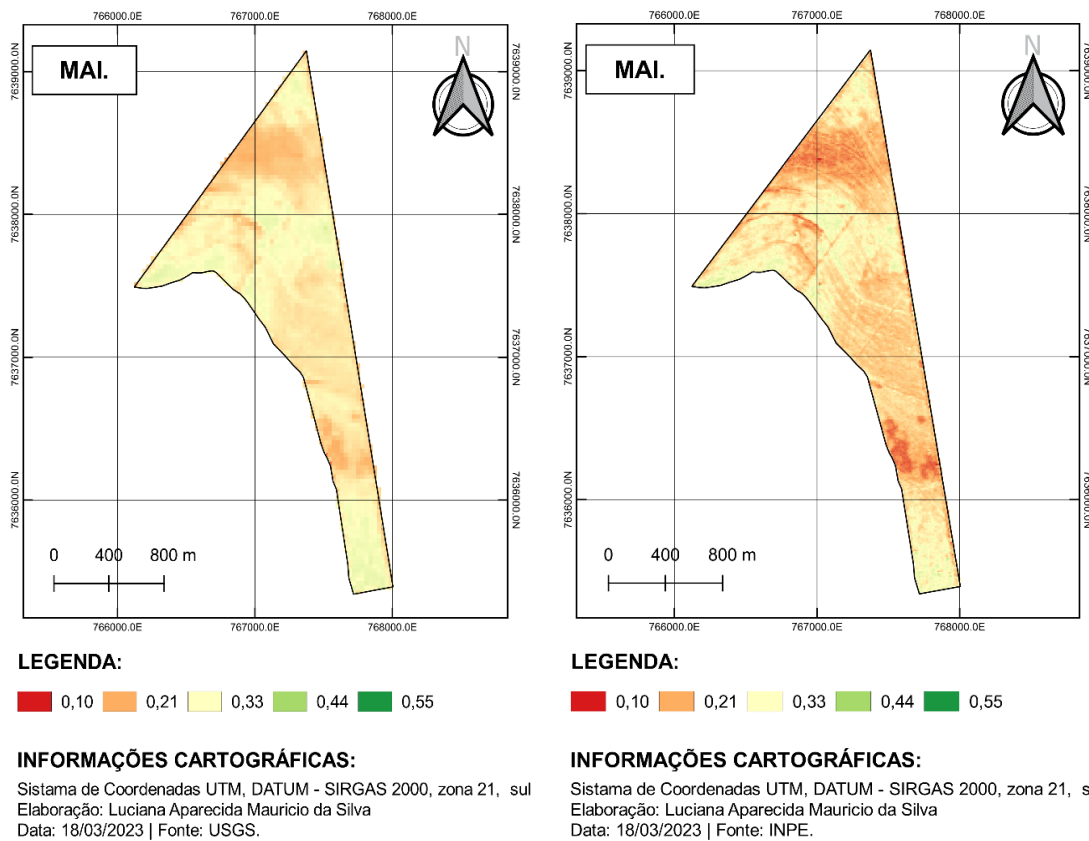


FIGURA 10. Comparativo em qualidade de imagens com o índice GNDVI em imagens do *Landsat-8* e *Cbers-4*, respectivamente.

Fonte: Autora (2023)

Podemos observar que o *Cbers-4*, dispõe de melhor qualidade para esse tipo de tratamento de imagens, podendo ser mais bem visualizado os pontos de menor cobertura de vegetação. E como houve o sinistro para o período de coleta das imagens, é visto que os pontos com menor quantidade de vegetação é devido ter tido o maior foco de queima da cultura.

5 CONCLUSÕES

A utilização de dois satélites, possibilitou uma boa visualização do estado da cultura, sendo que o satélite *Cbers-4* apresentou melhores resultados com maior nitidez e qualidade das imagens. Entre os índices avaliados, o NDVI apresentou resultados melhores quando comparados aos de GNDVI, devido demonstrar mais clareza sobre as variações da vegetação comparando-as aos resultados das composições coloridas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. *et al.* **Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL)** – Advanced Training and users Manual. Idaho: University of Idaho, 2002. 97p.

BRAZ, A. M; BRAZ, A. M.; GARCIA, P. H. M.; BARROS, M. H. DE S. Parâmetros de segmentação para a classificação supervisionada de imagens *Landsat 8*, *Cbers-4* e *Sentinel-2*: análise comparativa e validação estatística. **Ciência Geográfica**, Bauru, p.18, v. 23, 2019.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar. v. 6 - Safra 2019/20, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 10-58, maio de 2019.

Copernicus Open **Centro de acesso aberto Copernicus** Access Hub. Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>> (Acesso em 18 mar. 2023).

EIPHANIO, J. C. N. CBERS-3/4: características e potencialidades. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p.9009-9016. Online. Disponível em: < <http://www.ltid.inpe.br/sbsr2011/files/p1222.pdf>. Acesso em 14 mar. 2023.

FERNANDES, P.; VEIVERBERG, T. K.; SEBEM, E. Determinação da Produtividade de Soja por Sensoriamento Remoto em Nível de Talhão. In. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais...** INPE Disponível em: <http://mar.tecnico.uff.br/col/dpi.inpe.br.sbsr@80/2008/11.16.19.52/doc/2009-2015.pdf>. Acesso em 14 mar. 2023.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. A. **Sensoriamento Remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

Global Visualization Viewer. **GloVis**. Disponível em: <<https://glovis.usgs.gov/>> (Acesso em 18 mar. 2023).

GUO, T., KUJIRAI, T., WATANABE, T.; Mapping crop status from an unmanned aerial vehicle for precision agriculture applications. **ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Melbourne, v.39, p. 485, 2012.

HASMANN, D. S.; CAMARGO, D. C.; ORENHA-OTTAIANO, A. Investigando a tradução de acrônimos e siglas da área de sensoriamento remoto: uma proposta do ponto de vista fraseológico. **Cadernos de Letras da UFF**, n. 48, p. 25-47, 2014.

INPE. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>> (Acesso em 18 mar. 2023).

INPE. **Programa de queimadas**. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#tabela-de-atributos>> (Acesso em: 11 mai. 2023).

INPE. **Imagens Cbers**. 2019. Disponível em: <<http://www.cbers.inpe.br/sobre/cameras/cbers3-4.php>> (Acesso em 02 abr. 2021).

KÄFER, P.S.; REX, F. E.; SANTOS, M.; SEBEM, E. Caracterização espectral e NDVI de espécies florestais das famílias *fabaceae*, *myrtaceae*, *rutaceae* e *salicaceae*. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, v.13, n. 23, p. 262, 2016.

LIRA, V. et al. Análise espectral de índice de vegetação em área irrigada com cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, p. 113-120, v. 6, n. 1, 2009.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P.; Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 2, Campina Grande, fev., 2013.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB – CNPQ, 2012.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Capítulo 1. Departamento de sensoriamento remoto/ INPE. 2002. Disponível em:<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc/CAP1_ECMo

raes.pdf.>

MOLIN, J. P. Tendências da agricultura de precisão no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. p. 1-10.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

NOVO, E.M.L.M.; PONZONI, F.J. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf.

PRATES, I. **Utilização de imagens landsat-8 para caracterização da cobertura vegetal**. Disponível em: <https://mundogeo.com/2014/06/10/processamento-digital-de-imagens-landsat-8-para-obtencao-dos-indices-de-vegetacao-ndvi-e-savi-visando-a-caracterizacao-da-cobertura-vegetal-no-municipio-de-nova-lima-mg/>. (Acesso em 20 abr. 2021).

PRIMICERIO, J.; DI GENNARO, S.F; FIORILLO, E. et al A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture. **Precision Agriculture**, p. 517–523 (2012). <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9257-6>

QGIS UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA LIVRE E ABERTO. **QGIS Org**, 2022. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em 18 abr. 2023.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ. V.351**, p. 309-317. 1974

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2013.

TEIXEIRA, A.L.A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 1992.

USGS. U.S. **Geological Survey**, 2021. Disponível em: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products> (Acesso em 02 abr. 2021).

ZANZARINI, F.V.; PISSARRA, T.C.T.; BRANDÃO, F.J.C.; TEIXEIRA, D.D.B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.