



LEANDRO DE OLIVEIRA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE LAVOURA DE SOJA
NA MESORREGIÃO CAMPO DAS VERTENTES
UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

LAVRAS – MG

2021

LEANDRO DE OLIVEIRA DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE LAVOURA DE SOJA NA MESORREGIÃO
CAMPO DAS VERTENTES UTILIZANDO SÉRIES TEMPORAIS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho

Orientador

LAVRAS – MG

2021

AGRADECIMENTOS

À Deus e a todos e todas que de certa forma participaram e colaboraram para que essa jornada fosse concluída. Obrigado!

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Mapa de localização..... | 17 |
| Figura 2. Fluxograma do processamento de imagens..... | 20 |
| Figura 3. Pontos amostrados dentro de área de interesse, desconsiderando uma bora de 50 metros dos limites da gleba. | 21 |
| Figura 4. Imagens quinzenais de NDVI no período de cultivo da soja..... | 22 |
| Figuras 5. Histogramas obtidos das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2, demonstrando a frequência absoluta dos índices de NDVI das imagens processadas..... | 23 |
| Figura 6. Gráfico do índice de vegetação NDVI, obtido da média dos pontos de amostrais das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2. | 24 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Descrição dos estádios vegetativos da soja | 11 |
| Tabela 2 - Descrição dos estádios reprodutivos da soja | 11 |
| Tabela 3 – Municípios da mesorregião Campo das Vertentes. | 16 |
| Tabela 4 - Duração do ciclo de desenvolvimento, em dias, dos diferentes GMRs quando semeados em épocas de semeaduras distintas (Ciclo estimado para o dia 5 de cada mês). | 20 |
| Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados do índice de vegetação NDVI, extraída dos pontos amostrais das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2..... | 24 |

RESUMO

A utilização de geotecnologias tem sido cada vez mais imprescindível no monitoramento agrícola. Atualmente, o sensoriamento remoto por meio de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) e satélites com sensores embarcados, fornece imagens de alta qualidade, em muitas ocasiões sem custo, que permitem inferir diversos parâmetros de interesse para a agricultura. O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice muito utilizado para analisar o vigor e desenvolvimento das plantas e que pode ser derivado de dados de sensorialmente remoto. O acompanhamento das variações que ocorrem neste índice ao longo do tempo pode gerar informações úteis ao manejo e monitoramento do desenvolvimento de culturas agrícolas. Sendo assim, o objetivo geral é a utilização de séries temporais de imagens multiespectrais para calcular o NDVI de lavouras de soja e acompanhar o seu desenvolvimento ao longo do tempo. As áreas de estudo compreendem lavouras de soja localizadas em municípios pertencentes a mesorregião do Campo das Vertentes, em Minas Gerais. Com a realização deste estudo, espera-se encontrar padrões temporais da variação do NDVI da cultura da soja e analisar a variabilidade dos mesmos na área de estudo.

Palavras chaves: sensoriamento remoto, NDVI, série temporal, soja

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 8 |
| 2.1 A cultura da soja (<i>Glycine max L.</i>)..... | 8 |
| 2.1.1 Estádios de desenvolvimento da cultura da soja | 10 |
| 2.2 Uso do sensoriamento remoto na caracterização espectral de áreas | 12 |
| 2.2.1 Índice NDVI..... | 14 |
| 2.2.2 Uso de séries temporais..... | 15 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 16 |
| 3.1 Área de Estudo | 16 |
| 3.2 Hidrografia e clima..... | 17 |
| 3.3 Geomorfologia e relevo..... | 17 |
| 3.4 Geologia..... | 17 |
| 3.5 O município..... | 18 |
| 3.6 A Fazenda..... | 18 |
| 3.7 Base de dados | 18 |
| 3.8 Da cultivar | 19 |
| 3.9 Processamento de imagens..... | 19 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 4.1 NDVI..... | 21 |
| 4.2 Histogramas..... | 22 |
| 4.3 Análise dos pontos amostrais | 23 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 25 |
| 6 REFERÊNCIAS | 25 |

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma cultura de grande relevância para a agricultura brasileira, sendo o país o maior produtor do grão e este o seu principal produto de exportação. Em razão de sua importância, há um grande investimento em novas tecnologias que possibilite maiores produtividades, de modo sustentável e custos reduzidos.

O sensoriamento remoto consiste em tecnologias que possibilitem a obtenção de informações sobre a vegetação sem contato direta com a mesma. A interação intrínseca a vegetação é diferente para as diversas bandas do espectro eletromagnético, levando com que a reflectância seja distinta para diferentes comprimentos de onda, possibilitando que diversas informações sobre as propriedades da vegetação possam ser obtidas. Na agricultura, esta ferramenta pode ser empregada para a aquisição de informações acerca da distribuição dos diversos tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, deficiência nutricional, entre outras.

Partindo da associação das bandas espectrais, é possível estimar combinações matemáticas que ampliam a eficiência na obtenção de dados acerca das características e atividades da vegetação, chamadas Índices de Vegetação (IV). O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice muito utilizado para analisar o vigor e desenvolvimento das plantas e que pode ser derivado de dados de sensorialmente remoto. O acompanhamento das variações que ocorrem neste índice ao longo do tempo pode gerar informações úteis ao manejo e monitoramento do desenvolvimento de culturas agrícolas. Diversos estudos em sensoriamento remoto, principalmente no setor agrícola, empregam séries temporais, tanto para estimativas de estádios fenológicos de cultivares, previsão de safras, além da avaliação temporal de uso e ocupação do solo e na quantificação das alterações ocorridas. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a utilização de séries temporais de imagens multiespectrais para calcular o NDVI de uma lavoura de soja localizada na mesorregião do Campo das Vertentes, no estado de Minas Gerais, e caracterizar o seu desenvolvimento ao longo do tempo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da soja (*Glycine max L.*)

A soja (*Glycine max L.*), é um grão com elevado teor de proteínas que compõe a família Fabaceae (leguminosas), tal como o feijão, a ervilha e a lentilha (COSTA et al., 2020).

Acredita-se que o centro de origem genético primário da cultura é o Leste Asiático, ao passo que a região central da China é entendida como centro genético secundário (TEJO et al.,

2019).

A soja é uma planta anual ereta, herbácea e de reprodução autógama, que conta com variabilidade para algumas características morfológicas, que sofrem influência do ambiente, como o ciclo, que pode ser de 75 (mais precoces) a 200 dias (mais tardias), a altura que varia de 30 a 200 cm e que tem influência sobre a quantidade de ramificações, entre outros (TEJO et al., 2019).

Seu grão tem formato arredondado e cor amarela com teor de óleo entre 18 e 20%. A temperatura ideal para seu desenvolvimento, garantindo boa germinação e crescimento está em torno de 30°C e exige um aporte de água no solo superior a 50%, porém sem exceder 85% da sua capacidade de armazenamento (COSTA et al., 2020).

A soja sofre influência do fotoperíodismo, sendo classificada como uma planta de dias curtos, ou seja, exige um mínimo de horas de escuro para florescer. Contudo, tal característica é distinta entre cultivares (TEJO et al., 2019).

As primeiras menções ao grão surgiram entre 2883 e 2838 a.C., quando a soja era vista como um grão sagrado, juntamente do arroz, trigo, cevada e milho. Um de seus primeiros registros do grão está presente no livro "Pen Ts'ao Kong Mu", que descrevia as plantas da China ao Imperador Sheng-Nung. Para alguns autores, as referências à soja são ainda mais remotas, aludindo ao "Livro de Odes", publicado em chinês arcaico (EMBRAPA SOJA, 2016).

Até por volta de 1894, final da guerra entre a China e o Japão, a produção de soja foi limitada à China. Esta foi introduzida na Europa no fim do século XV, como planta exótica, nos jardins botânicos da Inglaterra, França e Alemanha (EMBRAPA SOJA, 2016).

Na segunda década do século XX, o teor de óleo e proteína do grão começou a chamar a atenção das indústrias ao redor do mundo. Porém, as tentativas de cultivo comercial da cultura na Rússia, Inglaterra e Alemanha fracassaram, possivelmente em razão das condições climáticas inadequadas (EMBRAPA SOJA, 2016).

No final dos anos de 1960, duas questões internas levaram o Brasil a pautar a soja como um produto comercial, fato que futuramente transformaria o cenário mundial de produção do grão. Na época o trigo era a principal cultura na região sul, e a soja emergia como uma opção de verão, em sucessão ao trigo. O país ainda se empenhava na produção de suínos e aves, criando uma demanda por farelo de soja. Em 1966, a produção comercial de soja foi elevada a uma necessidade estratégica, sendo produzidas por volta de 500 mil toneladas no País (EMBRAPA SOJA, 2016).

A vertiginosa subida do preço da soja no mercado mundial, na metade da década de 70, amplia o interesse dos agricultores e o governo brasileiro. O país conta com uma vantagem

competitiva frente aos demais países produtores: o escoamento da safra brasileira se dá na entressafra americana, quando os preços alcançam cotações superiores. A partir de então, o país deu início aos investimentos em tecnologia para adaptação da cultura às condições edafoclimáticas brasileiras, processo encabeçado pela EMBRAPA (EMBRAPA SOJA, 2016).

Os investimentos em pesquisa possibilitaram a “tropicalização” da soja, possibilitando, pela primeira vez na história, que a oleaginosa fosse cultivada com sucesso em regiões de baixas latitudes, entre o trópico de capricórnio e a linha do equador. Tal feito revolucionou a história mundial da soja e seus efeitos passaram a ser notados pelo mercado a partir do fim da década de 80 e mais intensamente na década de 90, quando os preços do grão entraram em queda. Na atualidade, os líderes mundiais na produção mundial de soja são os, Brasil, Estados Unidos, Argentina, China, Índia e Paraguai (EMBRAPA SOJA, 2016).

O Brasil se destaca no mercado mundial como o principal produtor e exportador de soja, cultura que conta com grande relevância no desenvolvimento da economia brasileira. A cultura tem ganhado cada vez mais importância no mercado agrícola brasileiro e global em razão de sua grande diversidade de aplicações, com relevantes características nutricionais na alimentação humana e animal. A oleaginosa representa um dos componentes mais fortes da economia brasileira (SILVA; NETO, 2019).

A área plantada da soja brasileira na safra 2019/20 cresceu 3% em relação à safra anterior, saindo de 35.874 milhões de hectares para os atuais 36.949,8 milhões de hectares. A produção nesta temporada alcançou 124.844,5 milhões de toneladas, consolidando o país como maior produtor mundial, o que representa um aumento de 4,3% frente ao período anterior. Em Minas Gerais, a área plantada com o grão foi de 1.647,3 mil hectares. Como consequência das condições climáticas favoráveis, houve incremento de 9,6% na produtividade estadual em relação à safra 2018/19, alcançando 3.747 kg/ha em seu fechamento. A combinação dos incrementos tornou possível a produção de 6.172,4 mil toneladas, o que representa um aumento de 14,6% em relação à safra anterior (CONAB, 2020).

2.1.1 Estádios de desenvolvimento da cultura da soja

O ciclo fenológico da soja foi pesquisado de forma detalhada por Fehr e Caviness (1977), que desenvolveram uma escala fenológica alfanumérica, seccionando a fenologia em dois grandes estádios: vegetativo e reprodutivo, representados, respectivamente, pelas letras maiúsculas V e R. Atualmente, tal escala tem sido novamente subdividida, em estádios reprodutivos específicos, simplificando a adoção de medidas de manejo desde a condução da cultura até o ponto de colheita (CÂMARA, 2006).

Exceto nos estádios V_E (emergência) e V_C (cotilédone), as letras V e R são acompanhadas de índices numéricos que caracterizam estádios específicos, nessas duas fases de desenvolvimento da planta (NEUMAIER; NEPOMUCENO; FARIAS, 2000).

As tabelas a seguir descrevem os estádios Vegetativo (Tabela 1) e Reprodutivo (Tabela 2).

Tabela 1 - Descrição dos estádios vegetativos da soja

| Estádio | | Descrição |
|-----------|-------------------------|--|
| Símbolo | Denominação | |
| V_E | Emergência | Os cotilédones estão acima da superfície do solo |
| V_C | Cotilédone desenvolvido | Cotilédones totalmente abertos |
| V_1 | Primeiro nó | As folhas unifolioladas estão totalmente abertas |
| V_2 | Segundo nó | Primeira folha trifoliolada aberta |
| V_3 | Terceiro nó | Segunda folha trifoliolada aberta |
| $V_{(n)}$ | Enésimo nó | “Enésimo” nó ao longo da haste principal com trifólio aberto |

Fonte: Câmara (2006)

Tabela 2 - Descrição dos estádios reprodutivos da soja

| Estádio | | Descrição |
|-----------|-------------------------|---|
| Símbolo | Denominação | |
| R_1 | Início do florescimento | Uma flor aberta em qualquer nó da haste principal |
| R_2 | Florescimento pleno | Maioria das inflorescências da haste principal com flores abertas |
| R_3 | Início da frutificação | Vagens com 0,5 a 1,5 cm de comprimento no terço superior da haste principal |
| R_4 | Frutificação plena | Maioria das vagens no terço superior da haste principal com comprimento de 2 a 4 cm (“canivete”) |
| $R_{5.1}$ | Início da granação | Até 10% da granação máxima na maioria das vagens localizadas no terço superior da haste principal |

| | | |
|-------------|-----------------------------------|--|
| R5.2 | | Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 10 e 25% da granação máxima |
| R5.3 | Média granação | Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 25 a 50% da granação máxima |
| R5.4 | | Maioria das vagens no terço superior da haste principal entre 50 e 75% da granação máxima |
| R5.5 | Final da granação | Maioria das vagens no terço superior da haste principal com 75 a 100% da granação máxima |
| R6 | Semente formada ou granação plena | 100% de granação. Maioria das vagens no terço superior contendo sementes verdes em seu volume máximo (“vagem gorda”) |
| R7.1 | Maturidade fisiológica | Até 50% de folhas e vagens amarelas |
| R7.2 | Maturidade fisiológica | Entre 50 e 75% de folhas e vagens amarelas |
| R7.3 | Maturidade fisiológica | Acima de 75% de folhas e vagens amarelas |
| R8.1 | Desfolha natural | Até 50% de desfolha |
| R8.2 | Desfolha natural | Acima de 50% de desfolha. Aproxima-se o ponto de colheita |
| R9 | Maturidade a campo | 95% de vagens com a cor da vagem madura |

Fonte: Câmara (2006)

Diversas tecnologias podem ser empregadas para a identificação dos estádios fenológicos da cultura da soja, entre elas, o sensoriamento remoto, por meio da caracterização espectral, assunto que será abordado a seguir.

2.2 Uso do sensoriamento remoto na caracterização espectral de áreas

De acordo com Jensen (2000), sensoriamento remoto é a arte e ciência da aquisição de dados sobre um objeto sem contato físico direto com este.

Esta tecnologia vem sendo intensamente empregada em diversas áreas como no monitoramento do uso e cobertura da terra, investigação de recursos florestais, agricultura de precisão, dentre outras. A caracterização dos tipos de uso da terra, mediante o processamento de imagem, é um setor em que o sensoriamento remoto tem grande relevância.

A análise das variações espectrais dos diferentes alvos sobre a superfície da terra empregando metodologias de sensoriamento remoto exige um conhecimento dos padrões espectrais de cada um destes alvos. A radiação incidente nestes pode interagir de modos

distintos, e é seletiva acerca do comprimento de onda específico para cada tipo de material, em razão de sua estrutura atômica e molecular (GOMES, 2017).

Em estudos de cobertura vegetal existe a possibilidade de aquisição de informações acerca da distribuição dos diversos tipos de vegetação, estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, deficiência nutricional, entre outras. A estrutura interna e externa das plantas e suas interações com a radiação eletromagnética impactam diretamente no modo com as folhas e os dosséis vegetais são apresentados espectralmente quando registrados empregando metodologias de sensoriamento remoto (GOMES, 2017).

Os espectros de reflectância dos dosséis de culturas são caracterizados por se tratarem de uma função das propriedades ópticas de dossel com influência de características biofísicas e bioquímicas da vegetação, da geometria do detector, das circunstâncias de iluminação do ambiente e efeitos de fundo (GOMES, 2017).

A interação intrínseca a vegetação é diferente para as diversas bandas do espectro eletromagnético, levando com que a reflectância seja distinta para diferentes comprimentos de onda, possibilitando que diversas informações sobre as propriedades da vegetação possam ser obtidas. O comportamento característico da vegetação vigorosa apresenta uma reflectância reduzida nas bandas do visível (em razão do efeito absorvente dos pigmentos fotossintéticos como a clorofila, xantofila e carotenos), tendo um máximo relativo na fração verde do espectro (a 550 nm). Contudo, conta com uma elevada refletância no infravermelho próximo (em razão ao mesófilo esponjoso, o qual propaga e dispersa a maior parte da radiação incidente), reduzindo-se gradativamente até infravermelho médio (devido ao efeito absorvente da água). Ademais, as curvas de refletância podem distinguir em razão da morfologia da folha (GOMES, 2017).

Já as folhas senescentes tendem a apresentar uma redução da absorção nos comprimentos de onda supramencionados, em razão do processo desidratação. Os solos, a estrutura do dossel e as características geometria de iluminação e de visada da cena são os fatores mais lembrados como principais fatores que influenciam na resposta espectral dos dosséis vegetais (NUNES et al., 2011).

Com base na resposta espectral da vegetação em estudo e no processamento digital de imagens é possível o cálculo de diversos índices de vegetação, que permitem conhecer diversos pontos acerca da condição desta. Um dos índices mais empregados é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que será apresentado a seguir.

2.2.1 Índice NDVI

Partindo da associação das bandas espectrais, foram elaboradas combinações matemáticas que ampliam a eficiência na obtenção de dados acerca das características e atividades da vegetação, chamadas Índices de Vegetação (IV). Comumente tais índices empregam os valores de refletância na faixa do vermelho (Red - R) e infravermelho próximo (Near-infrared - NIR), como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), conforme a Equação 1:

Equação 1 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

O NDVI é um indicador numérico no intervalo de 0 (vegetação sem folha em condição de estresse hídrico por déficit de água no solo) a 1,0 (vegetação com folhas, sem restrições hídricas e no máximo de suas funções metabólicas e fisiológicas), que parte do princípio que quanto mais verde, nutrida, sadia e com aporte hídrico adequado, maior será a absorção do vermelho e a refletância do infravermelho. Uma desvantagem do índice NDVI é a grande influência do efeito espectral do solo, o que perturba as avaliações da vegetação (PEREIRA et al., 2016).

O NDVI é largamente utilizado para caracterizar o arranjo global de vegetação, notar alterações ecológicas e ambientais, produção de biomassa, radiação fotossintética e a produtividade de culturas agrícolas, tal como na avaliação de uso e manejo do solo e recuperação de áreas degradadas, sendo base de ações conservacionistas adequadas para caso. Ademais, este índice tem sensibilidade à resposta do solo e à saturação em circunstâncias em que estão presentes elevados valores de biomassa. Por essa razão, quando a vegetação é muito densa, o NDVI não apresenta resposta devido à elevada saturação (BONFIM et al., 2018).

O índice NDVI apresenta-se como uma tecnologia relevante e tanto em análises de dinâmica temporal como em análises simplificadas de vegetação. Segundo Bezerra et al. (2018), o NDVI é inquestionavelmente o índice espectral de detecção remota mais empregado no monitoramento da superfície terrestre.

2.2.2 Uso de séries temporais

A constante obtenção de imagens por sensores orbitais, de grandes áreas da superfície terrestre, possibilita a elaboração e análise de séries temporais de dados de vegetação (KUPLICH et al., 2013).

Série temporal pode ser definida como qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, classificadas em contínuas ou discretas. Em sensoriamento remoto, uma série temporal contínua pode ser transformada em série temporal discreta, mediante observações que são efetuadas em intervalos de tempo predeterminados (BAYMA, 2015).

A observação e análise de tais séries podem contribuir para a caracterização de padrões e identificação de ocasionais alterações ou anomalias relacionadas à ação humana ou natural. Deste modo, o emprego de séries temporais de imagens orbitais para detecção de alterações globais e de cobertura da terra é uma das aplicações de maior relevância dos dados de sensoriamento remoto. (KUPLICH et al., 2013).

Diversos estudos em sensoriamento remoto, principalmente no setor agrícola, empregam séries temporais, tanto para estimativas de estádios fenológicos de cultivares, previsão de safras, além da avaliação temporal de uso e ocupação do solo e na quantificação das alterações ocorridas (BAYMA, 2015).

Para a análise das alterações de cobertura da terra é indispensável a comparação entre duas ou mais imagens de satélite, obtidas em momentos distintos, visando identificar onde, quanto e o que foi alterado no período estudado, mediante a classificação das imagens por meio das assinaturas espectrais dos alvos. Detectar mudanças representa identificar modificações na superfície terrestre mediante a análise de imagens da mesma área, obtidas em diferentes épocas, possibilitando a avaliação de dinâmicas espaciais (WECMULLER; VICENS, 2013).

Como explicam Wecmuller e Vicens (2013), para o alcance de uma detecção das alterações adequada, a mesma deve disponibilizar as seguintes informações: (1) variação de área de mudança, (2) distribuição espacial dos tipos alterados; (3) trajetórias de tipos de cobertura da terra, e (4) avaliação da precisão da detecção de mudança.

Há diversas técnicas para a análise multitemporal e cada uma possui uma particularidade em abordar a extração e classificação das alterações. Não há uma metodologia aceita com unanimidade. A decisão entre os métodos é dependente do propósito do estudo e/ou da preferência do analista (WECMULLER; VICENS, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área objeto deste trabalho está situada dentro dos limites do município de Nazareno, na mesorregião do Campo das Vertentes e microrregião de São João Del Rei (IBGE, 2020), estado de Minas Gerais. Ainda segundo IBGE (2020), a microrregião de São João Del Rei é constituída por 15 municípios.

Tabela 3 – Municípios da mesorregião Campo das Vertentes.

| Mesorregião | Microrregião | Municípios |
|---------------------|------------------|-----------------------------|
| Campo das Vertentes | São João Del Rei | Conceição da Barra de Minas |
| | | Coronel Xavier Chaves |
| | | Dores do Campo |
| | | Lagoa Dourada |
| | | Madre de Deus de Minas |
| | | Nazareno |
| | | Piedade do Rio Grande |
| | | Prados |
| | | Resende Costa |
| | | Ritópolis |
| | | Santa Cruz de Minas |
| | | Santana do Garambéu |
| | | São João Del Rei |
| | | São Tiago |
| | | Tiradentes |

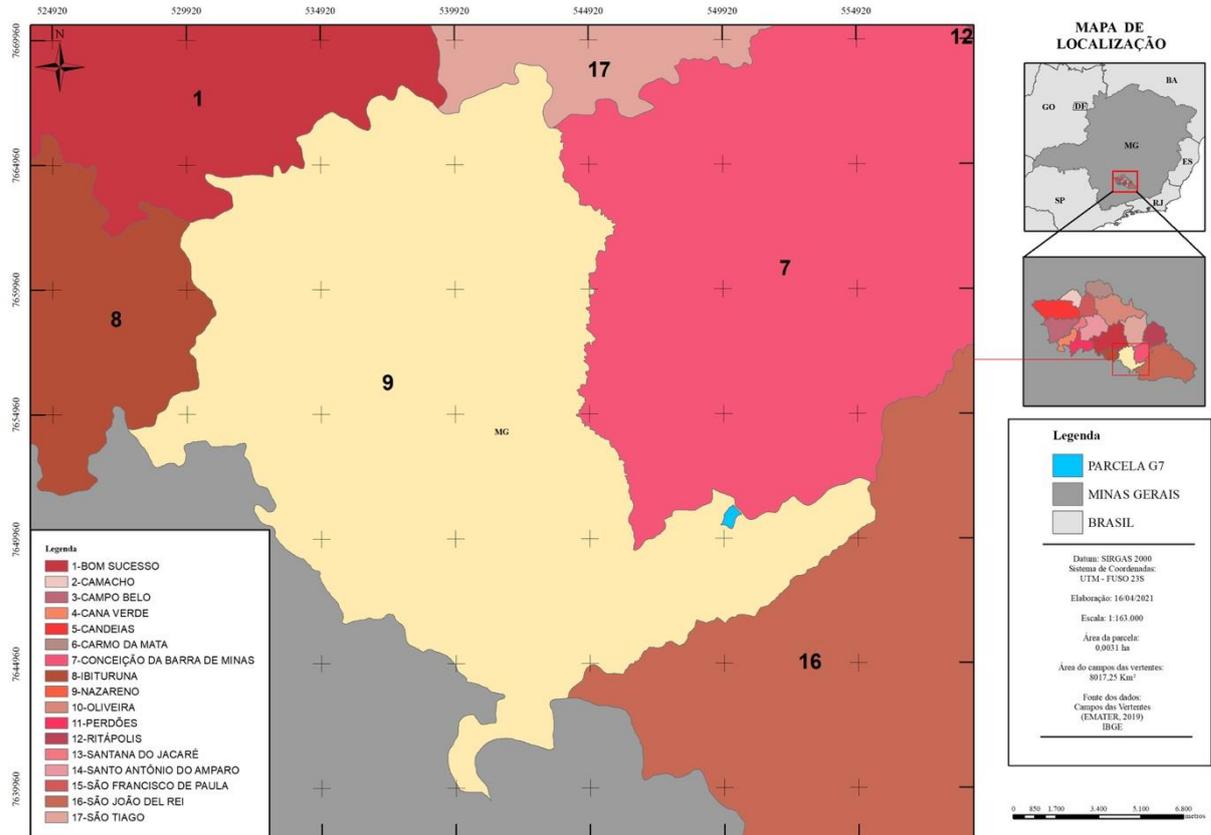


Figura 1. Mapa de localização.

3.2 Hidrografia e clima

A região está inserida na bacia hidrográfica do Rio Grande, onde o clima é do tipo Cwa, de acordo com a classificação climática de Köppen, de inverno seco e verão chuvoso, e de clima temperado chuvoso em regiões de elevada altitude.

3.3 Geomorfologia e relevo

A região está predominantemente inserida na unidade geomorfológica Planalto Campos das Vertentes, integrante do domínio morfoestrutural Escudo Exposto (BRASIL, 1983). Integra relevos topograficamente desnivelados e cotas altimétricas que variam entre 400m e 1.300m.

3.4 Geologia

As unidades estratigráficas que ocorrem na região de estudo são caracterizadas pelas associações litológicas predominante do Pré-cambriano. As principais rochas correspondem ao Grupo Andrelândia, Complexo Barbacena, Grupo Bambui, Complexo Divinópolis, Grupo São João Del Rei, Gnaisse Piedade e Granito Porto dos Mendes. O Terciário-Quaternário

compreende as coberturas indiferenciadas e Detrito-Lateríticas e o Quaternário os aluviões. (Radambrasil, 1983).

3.5 O município

O município de Nazareno tem população estimada em 8.660 habitantes com densidade demográfica de 24,17 hab/Km² (IBGE, 2020). Possui área de territorial de 341,453 Km² e sua economia é baseada na agropecuária e atividades de mineração (Prefeitura de Nazareno, 2020).

O município de Nazareno possui 523 estabelecimentos agropecuários, que ocupam uma área total de 23.593 hectares, sendo 5.580 hectares com uso destinados à lavouras (IBGE, 2017). Segundo o mesmo censo, 35 estabelecimentos possuem semeadeiras, 23 possuem colheitadeiras e 65 possuem maquinário destinados para adubação, demonstrando as limitações tecnológicas dos produtores da região, sendo aproximadamente 10% detentores de nível tecnológico alto. Toda produção de soja no município está concentrada em 5 estabelecimentos, dos quais foram colhidos em 841 hectares uma quantidade total de 3.355 toneladas, com produtividade média de 3,98t/ha (IBGE, 2017), sendo esta produtividade acima da média nacional da mesma safra, que atingiu 3,36t/ha daquele ano agrícola.

3.6 A Fazenda

A G7 Empreendimentos é uma sociedade empresarial limitada, composta por sete sócios e foi fundada em 2003 com foco inicial na produção de grãos no sul de Minas Gerais (Ideagri, 2018). Soja, milho, feijão e trigo são algumas das culturas semeadas na fazenda, que tem sede na zona rural do município de Nazareno-MG. Em uma altitude elevada, entre 960 e 1060 metros e com solo profundo e argiloso, está inserida em uma região consumidora de grãos, tendo se posicionado estrategicamente dentro deste mercado. No tocante a implantação das safras, a fazenda utiliza técnicas de agricultura de precisão, bem como a utilização de cultivares híbridos.

3.7 Base de dados

Foi monitorada uma gleba com aproximadamente 36 hectares, localizada às margens da Rodovia BR265, dentro dos limites do município de Nazareno, com coordenadas centrais de 21°14'36''S e 44°30'59''O, pertencente à empresa G7 Empreendimentos.

Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2, pois dentre as formas gratuitas de imagem, é a que oferece melhor resolução, possuindo as seguintes características: resolução temporal de 5 dias, resolução radiométrica de 12 bits, resolução espacial de 10 metros nas

bandas 2, 3, 4 e 8, sendo azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, respectivamente. A órbita é circular, heliossíncrona, descendente, com 98.5623° de inclinação, período de 98.46 minutos e altitude de 786 Km. As imagens foram adquiridas por meio do Earth Explorer entre a data de semeadura, 11/11/2020, e data de colheita, 14/03/2021, sendo selecionadas de forma a abranger todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

3.8 Da cultivar

Segundo informações fornecidas pela G7 Empreendimentos, a cultivar semeada na área está inserida no grupo de maturidade relativa 5.5, com hábito de crescimento indeterminado e classificada como precoce. Cultivares do grupo de maturidade relativa 5.5 semeadas em novembro possuem um ciclo médio estimado em 127 dias como apresentado na tabela 4, sendo determinado em função da resposta da cultivar ao fotoperíodo, práticas de manejo e adaptação das cultivar.

Tabela 4 - Duração do ciclo de desenvolvimento, em dias, dos diferentes GMRs quando semeados em épocas de semeaduras distintas (Ciclo estimado para o dia 5 de cada mês).

| GMR | Ciclo em outubro | Ciclo em novembro | Ciclo em dezembro | Ciclo em janeiro |
|-----------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 4.6 - 5.0 | 139 | 126 | 113 | 100 |
| 5.1 - 5.5 | 140 | 127 | 114 | 101 |
| 5.6 - 6.0 | 151 | 134 | 117 | 101 |
| 6.1 - 6.5 | 155 | 138 | 121 | 105 |
| 6.6 - 7.0 | 156 | 139 | 122 | 106 |
| 7.1 - 7.5 | 159 | 142 | 125 | 108 |
| 7.6 - 8.0 | 163 | 146 | 129 | 112 |
| 8.1 - 8.5 | 165 | 148 | 131 | 114 |

3.9 Processamento de imagens

As imagens do satélite Sentinel 2 foram previamente analisadas no Earth Explorer, com o seguinte fluxo:

1. As coordenadas centrais da área de interesse, com latitude $21^\circ 14' 36''$ S e longitude $44^\circ 30' 59''$ W foram inseridas nos critérios de busca;
2. Foram inseridos os intervalos de datas quinzenalmente, considerando o período em que a cultura estava inserida na área, entre novembro/2020 e março/2021;

3. O critério de interferência de nuvens foi mantido com até 100%, considerando que a área de interesse, especificamente, poderia não ter interferência de nuvens, mesmo que o imageamento num todo apresentasse interferência significativa; imagens que possuíam interferência significativa de nuvens sobre a área de interesse foram descartadas; imagens sem a interferência de nuvens foram selecionadas para utilização no estudo;
4. Com conhecimento das imagens que atendiam aos critérios para realização do estudo, foram obtidas as imagens do Sentinel 2, sendo este processo repetido por vezes, de acordo com as datas de interesse, formando uma base de dados multitemporal.

No processamento, foi realizada uma análise de qualidade das imagens, averiguando se não haviam distorções e se estavam devidamente georreferenciadas. Na etapa seguinte, foi realizado o cálculo do índice NDVI nas imagens do satélite Sentinel 2, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda 8} - \text{Banda 4}) / (\text{Banda 8} + \text{Banda 4})$$

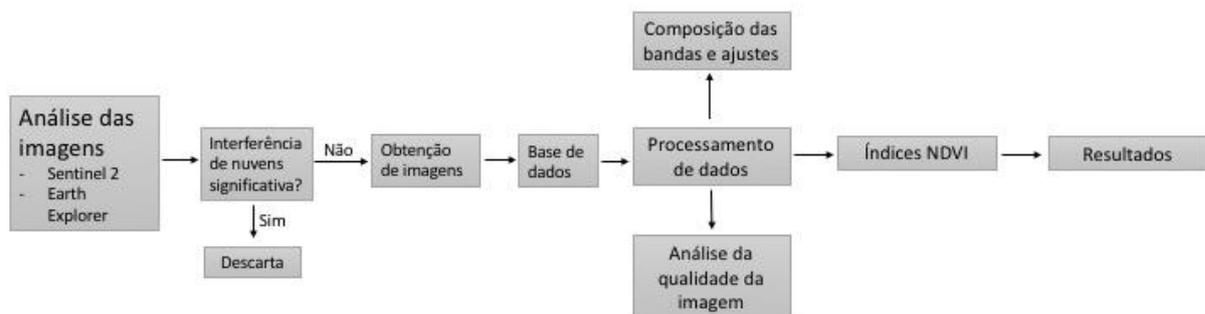


Figura 2. Fluxograma do processamento de imagens.

Para a análise do comportamento espectral, os valores de NDVI de *pixels* individuais foram coletados por meio de grade amostral, gerando 30 pontos de observação, como apresentado na figura 3. Além deste procedimento de amostragem, foi aplicado um *buffer* de

50 metros para o interior da gleba, com o objetivo de desconsiderar *pixels* que se encontravam na bordadura do talhão e que poderiam estar sob influência parcial de outras culturas, estradas que circundam a área e vegetações do entorno. Este procedimento foi realizado para se obter *pixels* que expressassem unicamente o comportamento espectral da cultura da soja.

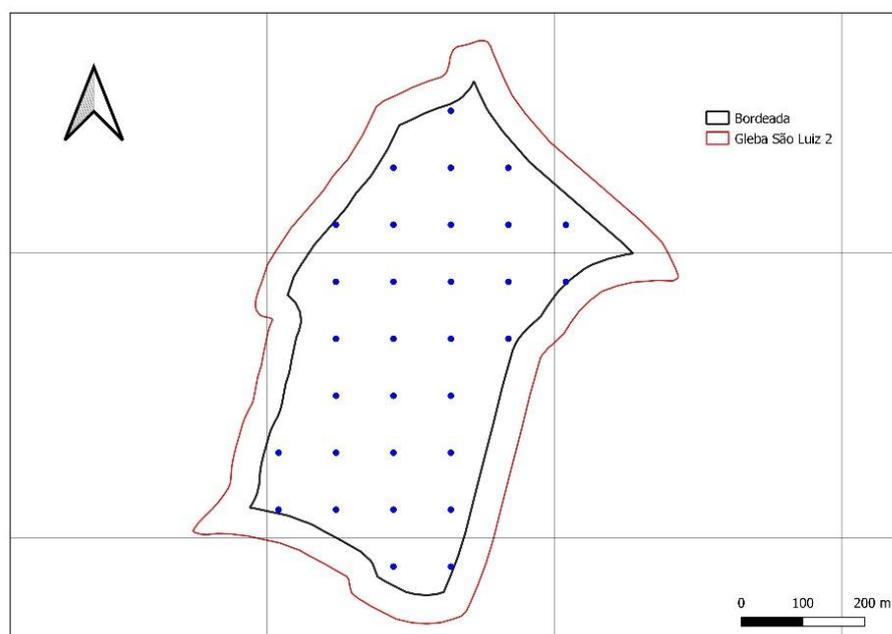


Figura 3. Pontos amostrados dentro de área de interesse, desconsiderando uma borda de 50 metros dos limites da gleba.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 NDVI

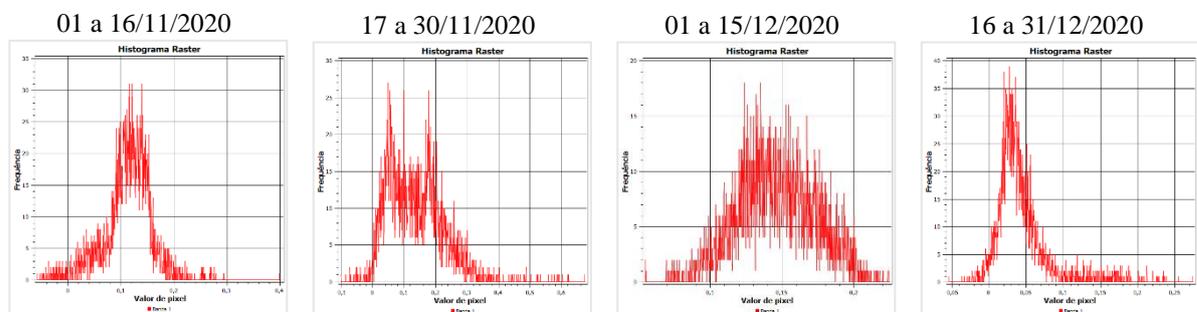
Para ilustrar a distribuição espacial dos valores de NDVI ao longo do tempo no talhão em estudo, os mesmos foram agrupados em cinco classes: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Nas imagens apresentadas na figura 4, é possível observar que os índices tenderam a aumentar após a semeadura, ocorrida ainda na primeira quinzena de novembro/2020, atingindo um ponto máximo na segunda quinzena de janeiro/2021, demonstrando coerência com o estágio fenológico reprodutivo da cultura e maior absorvância das faixas de espectro emitidas sobre o alvo, decrescendo após esta data, sendo um indicador de que a cultura poderia estar entrando em fase de senescência. A imagem referente a segunda quinzena de março, período em que já havia ocorrido a colheita, evidencia a alta reflectância das bandas do vermelho e baixa reflectância da banda do infravermelho próximo, indicando a existência de palhada ou solo exposto na área, uma vez que a colheita ocorreu no dia 14/03/2021.

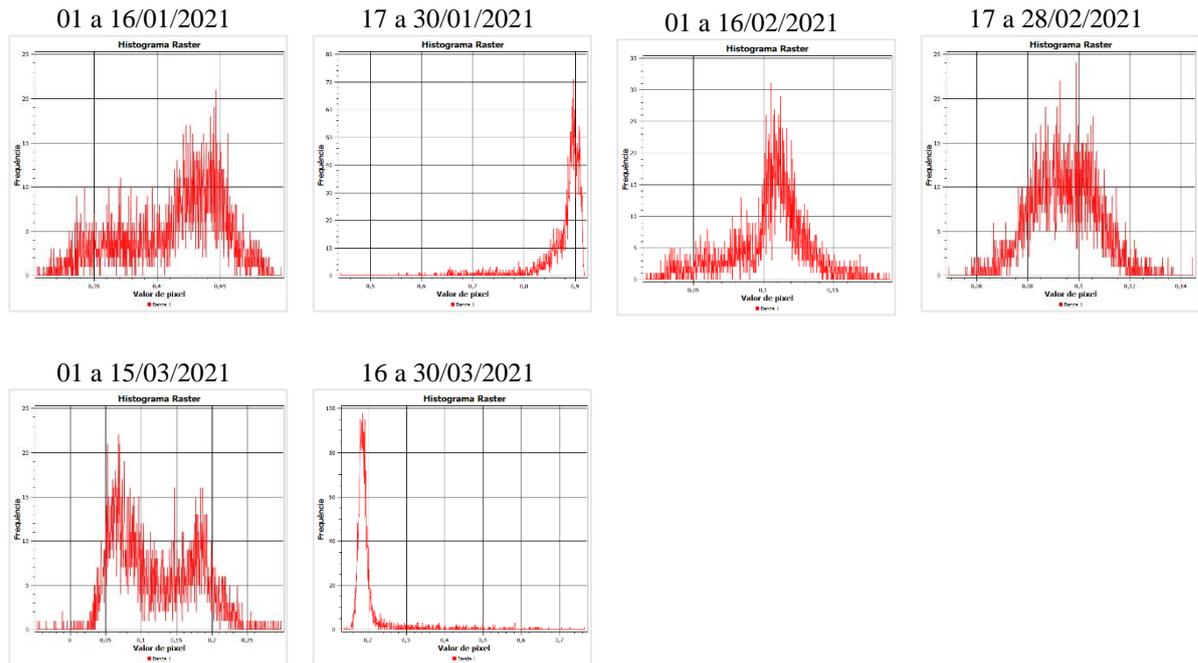


Figura 4. Imagens quincenais de NDVI no período de cultivo da soja.

4.2 Histogramas

Para analisar a distribuição de frequência dos valores de NDVI na área de interesse, foram gerados histogramas das imagens obtidas. Nestes histogramas é possível observar altas frequências de *pixels* entre 0,1 e 0,2 na primeira quinzena de novembro/2020, tendo gradual aumento ao longo do ciclo, até atingir altas frequências de *pixels* com valores superiores a 0,8, coerente com o estágio fenológico reprodutivo da cultura.





Figuras 5. Histogramas obtidos das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2, demonstrando a frequência absoluta dos índices de NDVI das imagens processadas.

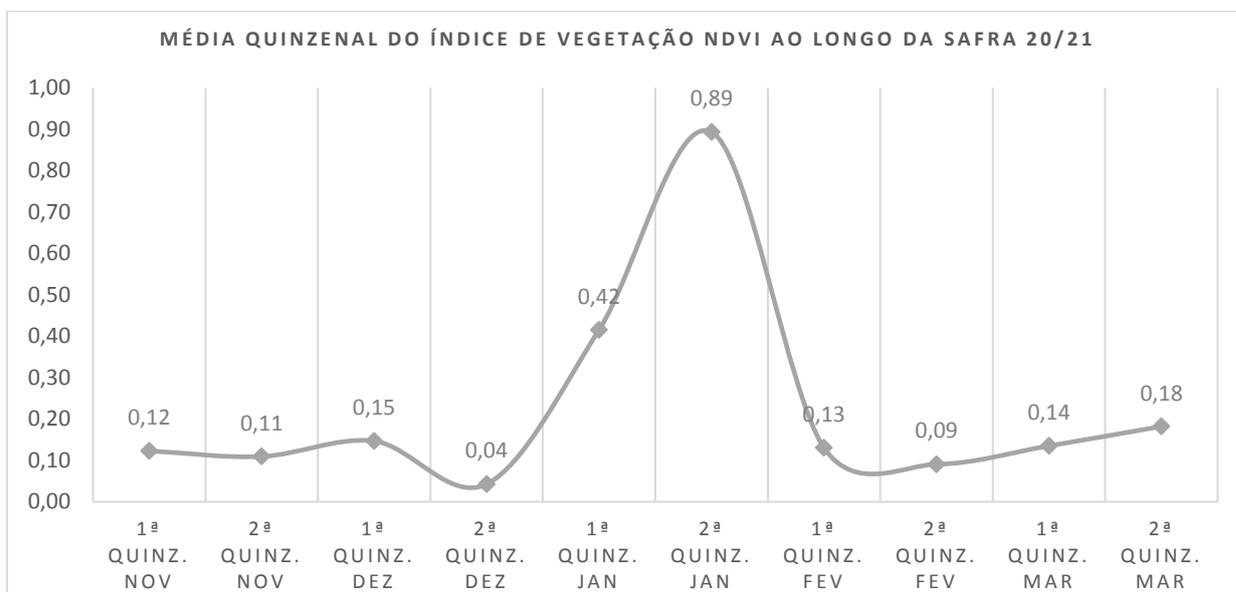
4.3 Análise dos pontos amostrais

Com base nos pontos observados, foram calculadas as médias dos valores de NDVI ao longo do tempo, sendo observados também o desvio padrão de cada imagem e os valores máximos e mínimos encontrados. A curva do gráfico apresentado na figura 6, demonstra visualmente o comportamento espectral da cultura da soja, compilando o que pode ser observado nas imagens classificadas e nos histogramas. Cabe salientar que a curva não apresenta uma tendência perfeita do ciclo da cultura em virtude da interferência de fatores como a presença de nuvens, como é o caso da segunda quinzena de dezembro, onde apurou-se um índice de 0,04 em um período que a cultura está no estágio fenológico vegetativo e apresenta pleno desenvolvimento foliar, desde que não seja acarretada por fitopatógenos diversos.

Tabela 5 - Estatística descritiva dos dados do índice de vegetação NDVI, extraída dos pontos amostrais das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2.

| Período | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|---------------|-------|---------------|--------|--------|
| 1ª quinz. Nov | 0,12 | 0,028 | 0,06 | 0,18 |
| 2ª quinz. Nov | 0,11 | 0,074 | 0 | 0,26 |
| 1ª quinz. Dez | 0,15 | 0,025 | 0,09 | 0,19 |
| 2ª quinz. Dez | 0,04 | 0,037 | 0 | 0,19 |
| 1ª quinz. Jan | 0,42 | 0,040 | 0,33 | 0,48 |
| 2ª quinz. Jan | 0,89 | 0,018 | 0,83 | 0,92 |
| 1ª quinz. Fev | 0,13 | 0,130 | 0,03 | 0,8 |
| 2ª quinz. Fev | 0,09 | 0,011 | 0,06 | 0,11 |
| 1ª quinz. Mar | 0,14 | 0,059 | 0,06 | 0,29 |
| 2ª quinz. Mar | 0,18 | 0,009 | 0,16 | 0,2 |

Figura 6. Gráfico do índice de vegetação NDVI, obtido da média dos pontos amostrais das imagens quinzenais do satélite Sentinel 2.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das técnicas de sensoriamento remoto pode oferecer vantagens no monitoramento do ciclo cultura da soja por meio de séries multitemporais, permitindo realizar estudos comparativos entre manejos realizados em safras ou glebas distintas e a possível correlação destes com produtividades obtidas.

Em contrapartida, a utilização de satélites no sensoriamento remoto pode oferecer limitações, principalmente em relação a interferência de nuvens, haja vista que, a depender do intervalo de revisita do satélite utilizado, pode haver a ocorrência de pragas e doenças que exijam curto tempo de resposta na execução do manejo.

Com as médias obtidas para os pontos observados, foi possível traçar um comportamento espectral do NDVI, permitindo acompanhar o ciclo da cultura da soja na gleba em estudo.

A espacialização dos dados forneceu subsídios para uma análise visual do comportamento dos alvos, permitindo inferir em quais regiões da lavoura houveram maiores ou menores índices, podendo esta variabilidade espacial ter relação com o vigor da cultura.

Ressalta-se que é possível aumentar a acurácia dos resultados utilizando imagens com menos interferência de nuvens e o aumento de pontos amostrais na área.

6 REFERÊNCIAS

BAYMA, A. P. **Análise do potencial de séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/33550966.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

BEZERRA, U. A. *et al.* Comparativo do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) entre os Sensores OLI - Satélite Landsat-8 e MSI – Satélite Sentinel-2 em Região Semiárida. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, RJ, v. 41, n. 3, p. 167-177, 2018.

BOELL, M. G. **Sistema de classificação de imagens de sensores remotos**. 2017. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Automação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/12130/1/DISSERTA%20de%20classifica%20de%20imagens%20de%20sensores%20remotos.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2021.

BONFIM, N. P. S. *et al.* Aplicação do NDVI na caracterização da cobertura vegetativa de Vitória Da Conquista – Bahia. In: SEMANA DE ENGENHARIA FLORESTAL DA BAHIA, III., 2018, Vitória da Conquista, BA. **Anais do evento** [...].2018. p. 1-7. Disponível em: <http://www2.uesb.br/eventos/seeFlor/wp-content/uploads/2018/03/Trabalho-64.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2021.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: folhas Rio de Janeiro, n. 6, p. 42-48, 1987: SF 23/24: Rio de Janeiro/Vitória: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780 p. (MME. Levantamento de recursos naturais, v. 32).

CÂMARA, G. M. S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão Agrícola**, n. 5, p. 63-66, jan/jun 2006. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-planta-e-ambiente01.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2021.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 7 - Safra 2019/20 - Décimo segundo levantamento, Brasília:CONAB, set. 2020, 68 p.

COSTA, S. J. B. *et al.* Análise econômica do agronegócio da soja na Bahia, Brasil. **Revista CCCSS: Contribuciones a las Ciencias Sociales**, p. 1-19, jun 2020. Disponível em: <https://www.eumed.net/rev/ccss/2020/06/soja-bahia.html>. Acesso em: 4 jan. 2021.

EMBRAPA SOJA. **História da soja**. Londrina, PR, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em: 4 jan. 2021.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p. (Special Report, n. 80)

GOMES, D. F. **Uso De Imagens Sentinel-2 na identificação de áreas com infestação do capim-annoni-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana Do Livramento, RS**. 2017. 77 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/173600/001062038.pdf?sequence=1>. Acesso em: 7 jan. 2021.

JENSEN, J. R. Remote sensing of vegetation. In: **Remote sensing of the environment, an Earth resource perspective**. Upper Saddle River-NJ: Prentice Hall, p. 333-377, 2000.

KUPLICH, M. *et al.* Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande , v. 17, n. 10, p. 1116-1123, out 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001000014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 14 jan 2021.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J. R. B. Estádios de desenvolvimento da cultura de soja. In: BONATO, E.R. (Ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 2000a. p. 19-44.

NUNES, G. M. *et al.* Classificação Espectral de Fitofisionomias em Área de Floresta Tropical Utilizando Dados do Sensor Aster. **Ensaios e Ciência**, v. 23, n. 2, p. 132-139, 2019.

NUNES, G. M. *et al.* Sensoriamento remoto na análise e caracterização de recursos florestais em ecossistemas tropicais. **Multitemas**, Campo Grande, MS, n. 39, p. 81-109, jul 2011.

PEREIRA, L. S. *et al.* Sensoriamento remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, SP, v. 16, n. 1, p. 8-33, 2016. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/62/ARQUIVOS/PUBLIC/user_upload/_imported/fileadmin/LABGEO/Trabalhos/2017/REVISTA_-_SENSORIAMENTO_REMOTO_APLICADO_A_AGRICULTURA_DE_PRECISAO_NO_CULTIVO_DE_BAMBU.pdf. Acesso em: 11 jan. 2021.

RITCHIE, S. *et al.* **How a soybean plant develops**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension, 1982. 20 p. (Special Report, n. 53).

ROUSE, J. W. *et al.*. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 3, Washington, 1973. Proceedings... Whashington: Nasa, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.

SILVA, L. L.; NETO, N.. Análise de eficiência de diferentes fungicidas no controle do fungo *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja. **Ciência & Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 44-51, jul 2019. ISSN 2447-3472. Disponível em: <http://200.19.0.181/index.php/CIENCIAETECNOLOGIA/article/view/8439/2126>. Acesso em: 14 jan 2021.

QUEIROZ, T. B. *et al.* Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens LANDSAT 8 e Rapideye na região central do Rio Grande Do Sul. **Geociências**, São Paulo, SP, v. 36, n. 3, p. 569-578, 2017. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/36/volume36_3_files/36-3-artigo-12.pdf. Acesso em: 7 jan. 2021.

TEJO, D. P. *et al.* Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, v. 35, n. 1, p. 1-9, jun 2019. Disponível em: http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/hw9EU5Lusw7rZZH_2019-6-19-14-11-1.pdf. Acesso em: 4 jan. 2021.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R.S. Análise Temporal da Cobertura da Terra do Município de Petrópolis/RJ numa Abordagem Pós-classificação de Detecção de Mudanças. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 3, p. 456-469, nov. 2013. ISSN 1984-2295.