

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Boletim de monitoramento agrícola da soja a partir de índices de vegetação
para o oeste baiano**

Ellen Grous

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte
dos requisitos para obtenção do título de Engenheira
Agrônoma

**Piracicaba
2025**

Ellen Grous

Boletim de monitoramento agrícola da soja a partir de índices de vegetação para o oeste baiano

Orientadora:

Profª Drª ANA CLÁUDIA DOS SANTOS LUCIANO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Agrônoma

**Piracicaba
2025**

Aos meus avós, Benedito e Luiza, que foram cortadores de cana-de-açúcar,
e aos demais homens e mulheres do campo,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Às mulheres da minha família: minha mãe Cibele, minha irmã Mayra e minhas avós, Luiza e Amélia, que com seus passos cheios de sacrifícios me trouxeram até aqui. Ao meu pai Marcelo, por seus incontáveis dias de trabalho que possibilitaram que meus sonhos se concretizassem. Ao meu tio Marco e aos demais membros da família, sempre apoiando. O esforço coletivo me formou Engenheira Agrônoma.

Ao meu esposo, Emerson, que me acompanhou durante toda essa jornada e me acompanhará nas próximas. Por ser minha rede de apoio, fazer o jantar, limpar a casa e me incentivar a terminar o TCC. A vida não é a mesma sem você.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ana, pela sua incrível capacidade de auxiliar e encorajar a buscar respostas no sensoriamento remoto. Minha mais sincera gratidão pelo suporte e orientação inigualáveis.

Aos diversos grupos, laboratórios e estágios dos quais fiz parte, agradeço a possibilidade de aprender e criar conhecimento. Em especial ao YouthMappers ESALQ/USP, que tem o brilho nos olhos para fazer a diferença. Obrigada!

Às amizades genuínas que fiz pelo caminho e que permanecerão para sempre na memória, em especial Larissa, Isabela e Kenderson. À Vila Estudantil, que foi minha morada por dois anos, e aos amigos que fiz por lá.

À Universidade de São Paulo e à querida ESALQ, com suas árvores encantadoras e cheias de histórias para contar; aos cantos improváveis que serviram de apoio para estudar na hora do almoço; às antigas construções que sobreviveram ao tempo e hoje permitem que os alunos explorem os mistérios do mundo; aos professores, servidores, faxineiros, bibliotecários, técnicos, cozinheiros, seguranças e todos os demais que constroem diariamente esse espaço. Obrigada!

*“Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente
é no meio da travessia”.*

João Guimarães Rosa

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO | 7 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 Objetivos específicos | 13 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 3.1 A soja no Brasil..... | 15 |
| 3.1.1 Cultura da soja | 15 |
| 3.1.2 Expansão agrícola no oeste baiano | 16 |
| 3.2 Monitoramento agrícola..... | 18 |
| 3.2.1 Monitoramento agrícola no Brasil | 18 |
| 3.2.2 Monitoramento agrícola por sensoriamento remoto | 19 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 23 |
| 4.1 Área de estudo..... | 23 |
| 4.2 Dados | 24 |
| 4.3 Metodologia | 25 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 29 |
| 5.1 Monitoramento da soja para o mês de outubro de 2025 | 29 |
| 5.2 Boletim de monitoramento agrícola – perspectivas futuras..... | 35 |
| 5.3 Relação entre a produtividade municipal e o NDVI | 38 |
| 6 CONCLUSÕES | 41 |
| REFERÊNCIAS..... | 42 |

RESUMO

Boletim de monitoramento agrícola da soja a partir de índices de vegetação para o oeste baiano

O Brasil possui grande destaque na produção mundial de alimentos e, entre suas vastas áreas produtivas, destaca-se o MATOPIBA, uma região agrícola que abrange o oeste da Bahia, responsável pela produção de 8,84 milhões de toneladas de soja na safra 2024/25. O monitoramento de culturas no Brasil ainda é realizado com levantamentos em campo por órgãos oficiais, como o IBGE, MAPA e CONAB, o que torna o auxílio aos produtores custoso e subjetivo. Nesse sentido, o uso de sensores remotos, sistemas de monitoramento por satélite e índices de vegetação (IVs) podem contribuir para as técnicas produtivas e acompanhamento da lavoura. Este projeto teve por objetivo explorar a capacidade do uso de imagens do satélite Sentinel-2 e dos índices NDVI, NDRE1 e NDMI para a elaboração de um boletim de monitoramento agrícola da soja para o oeste baiano. A metodologia do trabalho consistiu em identificar as áreas de soja dos 12 municípios da área de estudo, realizar o processamento das imagens do Sentinel-2, calcular os IVs, obter os dados de precipitação dos últimos 30 anos e de outubro de 2025, criar os gráficos de composição com as séries temporais dos índices e precipitação, calcular a anomalia para o NDVI, criar um mapa com a avaliação do vigor de cada município e prospectar o boletim de monitoramento. Além disso, também foi feita a relação entre os resultados do NDVI com a produtividade real do IBGE para a soja. No geral, o NDVI apresentou padrão similar ao NDRE, enquanto que o NDMI corroborou para o estresse hídrico na região, apontado pela precipitação de outubro, que ficou abaixo da média histórica para todos os municípios. A princípio, o boletim de monitoramento agrícola foi prospectado com os resultados obtidos, incluindo apenas o NDVI como índice, e sua divulgação foi realizada nas redes sociais. Em outubro de 2025, o município de Jaborandi apresentou o maior vigor vegetativo para o NDVI (0,30), NDRE1 (0,20) e NDMI (-0,07) em comparação às demais cidades avaliadas. Na escala avaliativa de outubro, foi o único a ser classificado como estável. Quanto à relação do NDVI com a produtividade real da soja, o maior coeficiente de determinação obtido foi para o ano de 2020 ($R^2 = 0,63$). Foi possível explorar efetivamente a capacidade das imagens do Sentinel-2 e dos IVs selecionados para prospectar um boletim de monitoramento agrícola para o oeste baiano e divulgá-lo. Os resultados obtidos evidenciam o potencial do sensoriamento remoto para o acompanhamento e planejamento de safras.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Séries temporais, NDVI, Produtividade da soja

ABSTRACT

Agricultural monitoring bulletin for soybean based on vegetation indices for western Bahia

Brazil plays a prominent role in global food production, and among its vast productive areas, MATOPIBA stands out. This agricultural region includes western Bahia, that was responsible for producing 8.84 million tons of soybean in the 2024/25 harvest. Crop monitoring in Brazil is still largely conducted through field surveys by official agencies such as IBGE, MAPA, and CONAB, making assistance to producers costly and subjective. In this sense, the use of remote sensors, satellite monitoring systems, and vegetation indices (VIs) can contribute to production techniques and crop monitoring. This project aimed to explore Sentinel-2 satellite imagery and NDVI, NDRE1, and NDMI indices to develop an agricultural monitoring bulletin for soybean in western Bahia. The methodology consisted of identifying the soybean areas of the 12 municipalities in the study area, processing Sentinel-2 images, calculating VIs, obtaining forecast data from the last 30 years and October 2025, create composite charts with time series of indices and precipitation, calculating the anomaly for NDVI, creating a map with the vegetation vigor, and prospecting the monitoring bulletin. In addition, a relation between the NDVI results and the real soybean productivity was made. Overall, NDVI showed higher values than NDRE1 and NDMI, due to its propensity for saturation. The low NDMI results corroborate the water stress in the region, indicated by the October precipitation, which was below the historical average for all cities. In 2025 October, the municipality of Jaborandi presented the highest vegetative vigor for NDVI (0.30), NDRE1 (0.20), and NDMI (-0.07) compared to other evaluated cities. On October's evaluation scale, it was the only one classified as stable. The agricultural monitoring bulletin was developed using the obtained results, including only NDVI as an index, and it was released on social media. Regarding the relationship between NDVI and actual soybean productivity, the highest coefficient of determination was for the year 2020 ($R^2 = 0.6314$), a result reported in the literature and which may assist future studies. Therefore, with the execution of the project, all objectives were achieved. It was possible to effectively explore the capacity of Sentinel-2 images and the selected VIs to develop and disseminate an agricultural monitoring bulletin for western Bahia. The results highlights the potential of remote sensing for crop monitoring and planning.

Keywords: Remote sensing, Time series, NDVI, Soybean productivity

1 INTRODUÇÃO

Segundo as projeções da OECD-FAO (2020), a população mundial será de 8,4 bilhões de pessoas até 2029. Tal crescimento populacional demanda um aumento contínuo na produtividade agrícola, atribuindo ao setor a expansão da produção de alimentos de forma sustentável, a fim de reduzir os impactos ambientais oriundos da intensificação de processos produtivos.

O Brasil possui grande destaque na produção mundial de alimentos e sua contribuição agrícola será de extrema importância no futuro. Entre as vastas áreas produtivas nacionais, destaca-se o MATOPIBA, região agrícola que abrange os estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). Sua expansão agrícola se deu a partir anos 1980 e o investimento na região foi motivado pela topografia plana e o baixo custo das terras. Os sistemas de produção atuais são intensivos, com alta produtividade e grandes colheitas de grãos, como soja, algodão e milho (Garagorry; Miranda; Magalhães, 2014).

O estado da Bahia, especialmente o oeste baiano, se destaca na produção agrícola, por ser a área mais antiga e consolidada do MATOPIBA, responsável pela maior produção de soja da fronteira agrícola (Porcionato, Castro e Pereira, 2018). Na safra 2024/25, a produtividade de soja na Bahia foi de 69 sc/ha, com um total de produção física de 8,84 milhões de toneladas de soja (SEI, 2025). Para fins de comparação, a produtividade nacional foi de 60 sc/ha, o que demonstra que a produtividade baiana está acima da média brasileira.

Com o crescimento recente e contínuo da produção agrícola no oeste baiano, surge a necessidade de ferramentas eficazes para monitorar a produtividade agrícola. Tradicionalmente, o monitoramento de culturas no Brasil é realizado por meio de entrevistas, questionários e levantamentos em campo efetuados por órgãos oficiais como o MAPA (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento), a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) e o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (IBGE, 2025a), o que implica em tempo, custos e recursos humanos, podendo causar subjetividades. No entanto, técnicas advindas do sensoriamento remoto têm colaborado com o monitoramento sistemático das culturas, como por exemplo, por meio do uso de índices de vegetação que permitem a análise do vigor de culturas.

O sensoriamento remoto por satélite possibilita a revisita de um mesmo local em tempos diferentes, viabilizando a criação de séries temporais e o uso de índices de vegetação para distinguir as lavouras de soja e monitorar o vigor vegetativo, que apresenta resultados importantes para a tomada de decisão no campo. Os índices de vegetação mais usuais são o

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Rouse et al., 1974) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (Huete et al., 2002). O índice de vegetação *Normalized Difference Red Edge Index* (NDRE) (Barnes et al., 2000), por exemplo, possui resultados expressivos em soja e milho, podendo detectar áreas com estresse foliar não identificadas pelo NDVI (Sampaio et al., 2021). Para a disponibilidade hídrica, utiliza-se o *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) ou *Normalized Difference Water Index* (NDWI) (Gao, 1996).

No caso da soja, o monitoramento remoto tem sido empregado para diversos fins, como a detecção de estresses abióticos e bióticos, estimativa do estado de plantas e acompanhamento da fenologia da cultura. Nesse contexto, Araujo et al. (2025) monitoraram detalhadamente o ciclo fenológico da soja no município de São Desidério, um dos maiores produtores do oeste baiano, através do NDVI e NDMI derivados de imagens do satélite Sentinel-2. O estudo obteve, ao combinar esses índices, uma avaliação mais completa e matizada da lavoura, que possibilitou até mesmo diferenciar o amarelecimento natural da maturação do estresse hídrico prematuro.

A estimativa de área plantada de soja também é objeto de investigação pelo sensoriamento remoto por satélite, visto que pode auxiliar a previsão da safra de uma região grande e servir de instrumento para negócios e planejamento pós-colheita (França et al., 2021). A previsão da produtividade da soja também pode ser acompanhada por meio de modelos de previsão. Estes, são desenvolvidos a partir de séries temporais de índices de vegetação e clima, como realizado em um estudo de Schwalbert et al. (2020) para a soja no Rio Grande do Sul. Os autores sugerem que a produtividade da soja pode ser prevista com maior precisão até 40 dias antes da colheita, o que fornece uma camada útil para fins agrícolas e aplicações de políticas.

Algumas iniciativas internacionais têm sido implementadas para o monitoramento de culturas agrícolas, como o Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring (GEOGLAM), que propõe coordenar o monitoramento global de culturas via satélite. Em parceria com o Agricultural Market Information System (AMIS), o projeto alimenta o GEOGLAM Crop Monitor, que supervisiona as principais culturas comercializadas no mundo, entre elas a soja, e disponibiliza os resultados por meio de relatórios mensais. Os dados de campo e de NDVI possibilitam o acesso a informações relevantes e oportunas em escala global. Por meio de séries temporais, essa iniciativa permite observação e previsibilidade de tendências agrícolas (GEOGLAM, 2025).

Estudos e projetos como esses evidenciam que o monitoramento agrícola remoto apresenta-se como uma alternativa hábil e sustentável para o acompanhamento de culturas agrícolas. A divulgação de seus resultados é igualmente essencial e deve dispor de informações sintetizadas e transparentes, que podem ser disseminadas em boletins informativos, como a

CONAB publica mensalmente para a safra de grãos (CONAB, 2025a). O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) também faz publicações mensais de boletins agroclimatológicos das regiões do país, a fim de auxiliar o planejamento agrícola (INMET, 2025). Este tipo de publicação periódica deve garantir a confiabilidade e consistência dos dados.

Face ao exposto, utilizar séries temporais de imagens de satélite e dados climáticos para o monitoramento de culturas agrícolas no estado da Bahia se faz de extrema importância para o acompanhamento e planejamento das safras, contribuindo para a dinâmica e expansão da fronteira agrícola na região do MATOPIBA. A natureza informativa do monitoramento remoto permite a detecção precoce de problemas na lavoura, como estresse hídrico, doenças ou pragas. As informações e resultados disponibilizados em um boletim agrícola informativo fortalecem a extensão rural, o suporte aos produtores rurais e a tomada de decisões em tempo hábil no campo.

2 OBJETIVOS

Este projeto teve por objetivo explorar a capacidade do uso de imagens do satélite Sentinel-2 e de índices de vegetação para a elaboração de um boletim de monitoramento agrícola da soja para o oeste baiano. O boletim consiste em um material de divulgação com mapa de vigor vegetativo da área de estudo e de gráficos de desempenho com séries temporais dos índices de vegetação e precipitação para acompanhamento mensal.

2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- a) Avaliação do potencial de imagens do satélite Sentinel-2 e índices de vegetação (NDVI, NDRE, NDMI) para o acompanhamento da cultura da soja;
- b) prospecção e divulgação de um boletim mensal de monitoramento agrícola no oeste da Bahia;
- c) comparação entre o comportamento espectral e a produtividade real de órgãos oficiais, como o IBGE.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A soja no Brasil

3.1.1 Cultura da soja

Entre as diversas culturas agrícolas que hoje sustentam o agronegócio brasileiro, a espécie vegetal *Glycine max* L. Merrill., popularmente conhecida como soja, destaca-se como a mais importante leguminosa da família botânica Fabaceae, devido à sua relevância socioeconômica mundial na sustentação da agroindústria moderna e na segurança alimentar (Mishra et al., 2024). A soja é originária do leste asiático e emergiu como uma potência agrícola global graças a sua versatilidade como fonte de diversos produtos: grão, óleo, farelo para alimentação animal e humana, proteína vegetal texturizada (PVT), biodiesel, leite e outros produtos alimentícios (Kumari et al., 2025).

A soja foi disseminada na América no século 17 através dos portugueses e espanhóis, mas só veio a ter notabilidade a partir de 1940 quando deixou de ser cultivada apenas como forragem e passou a ser cultivada para produção de grãos (Sediyama, 2015). Os autores Fehr e Caviness (1977) foram os primeiros a propor uma divisão fenológica da soja em estádios vegetativos e reprodutivos (Tabela 1), a fim de relacionar o desenvolvimento com as necessidades da cultura. O monitoramento remoto associado ao conhecimento da fenologia é indispensável para compreender a capacidade e sensibilidade da cultura ao longo do seu desenvolvimento no campo, especialmente para delinear estratégias de manejo, em especial o de irrigação, visto que a soja é altamente sensível ao déficit hídrico durante a floração e enchimento de sementes (Farias, 2024).

Tabela 1. Estádios da fenologia da soja.

| Estádio vegetativo | | Estádio reprodutivo | |
|--------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|
| VE | Emergência | R1 | Início do florescimento |
| VC | Cotilédone | R2 | Florescimento pleno |
| V1 | Primeiro nó | R3 | Início da formação das vagens |
| V2 | Segundo nó | R4 | Formação plena das vagens |
| V3 | Terceiro nó | R5 | Início do enchimento das sementes |
| . | . | R6 | Enchimento pleno das vagens |
| . | . | R7 | Início da maturação |
| V(n) | Enésimo nó | R8 | Maturação plena |

Fonte: adaptado de Fehr e Caviness (1977).

No que tange às condições climáticas, a soja adapta-se bem em locais com temperatura compreendidas entre 20°C e 30°C. Locais com baixas temperaturas (< 10°C) anulam o desenvolvimento vegetativo da soja e locais com altas temperaturas (> 40°C) provocam distúrbios na floração e enchimento dos grãos, intensificados pelo déficit hídrico. A floração da soja é regulada pela duração do dia e diversas cultivares foram desenvolvidas para atender as necessidades de cada região do Brasil. Portanto, as cultivares apresentam fotoperíodo crítico próprio e, acima deste, o florescimento é atrasado, de modo que a soja é considerada uma planta de dias curtos (Neumaier et al., 2020). Em relação à água, a cultura da soja necessita um volume total entre 450 mm a 800 mm/ciclo.

Entre as limitações bióticas, estão as pragas e doenças. Segundo Roggia et al. (2020), as pragas principais da soja são a lagarta-da-soja (*Anticarsia gemmatilis*), a lagarta-falsa-medideira (*Chrysodeixis includens*) e o percevejo-marrom (*Euschistus heros*). A cultura da soja também sofre com doenças causadas por fungos e bactérias, que podem reduzir a produtividade da soja em até 50% e 15-60%, respectivamente. Dentre as principais, estão a antracnose (*Colletotrichum truncatum*, *C. sojae*, *C. plurivorum*), o mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) e a ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi*), que provoca grande impacto na cultura se não evitada e controlada (Toomer et al., 2023; Seixas et al., 2020).

Atualmente, a soja é cultivada como cultura anual e semeada entre os meses de setembro a fevereiro no Brasil, a depender da região, após o período de vazio sanitário. Em todos os anos, o Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA) dispõe a obrigatoriedade do vazio sanitário contra a ferrugem-asiática, que os produtores devem seguir de acordo com as datas estabelecidas para suas regiões. Para a safra 2025/2026, a Portaria nº 1.271 já estabeleceu os períodos de vazio sanitário e de calendário de semeadura da soja em nível nacional (BRASIL, 2025).

3.1.2 Expansão agrícola no oeste baiano

No ano agrícola 2024/25, a produção mundial de soja atingiu o expressivo marco de 420 milhões de toneladas (USDA, 2025), consolidando o Brasil como o maior produtor mundial com o recorde histórico de 171 milhões de toneladas (CONAB, 2025b), 13% superior à safra 2023/24, cultivados em uma área agrícola de 47 milhões de hectares. Uma notável parte dessa área e produção estão concentradas na fronteira agrícola do MATOPIBA, acrônimo das iniciais do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia.

A delimitação dessa região se deu para demarcar uma área com grande capacidade de crescimento agrícola, que foi institucionalizada pelo decreto nº 8.447 de 6 de maio de 2015

(BRASIL, 2015) e compreende cerca de 73 milhões de hectares, distribuídos por 337 municípios e 31 microrregiões geográficas do IBGE. De acordo com Miranda, Magalhães e Carvalho (2014), a repartição proposta em 2014 entre os quatro Estados foi de 33% no Maranhão (15 microrregiões, 135 municípios, 23 milhões de ha); 38% no Tocantins (8 microrregiões, 139 municípios, 27 milhões de ha); 11% no Piauí (4 microrregiões, 13 municípios, 8 milhões de ha) e 18% na Bahia (4 microrregiões, 30 municípios, 13 milhões de ha). Da área total, cerca de 6 milhões de hectares são destinados para o cultivo da soja.

Na década de 1980, a expansão das atividades agropecuárias na região se iniciou com a modernização dos processos produtivos, bem como no resto do país, para o cultivo intensivo de grãos, como a soja e o milho, visando alta produtividade e competitividade, decorrentes de uma produção altamente mecanizada (Batista et al., 2023; Belchior; Alcântara; Barbosa, 2017). Na safra 2024/25, o MATOPIBA produziu 22,8 milhões de toneladas de soja conforme estimativas da CONAB (2025a), 13,3% da produção nacional, o que demonstra que a agricultura intensiva nesse espaço é altamente produtiva (Figura 1).



Figura 1. Extensão do cultivo de soja (em rosa) no MATOPIBA em 2024.

Fonte: MAPBIOMAS (2025).

Atualmente, o estado da Bahia se destaca em produtividade, protagonizando a maior produção dos grãos na região do MATOPIBA, em especial a região intermediária de Barreiras no oeste (Pereira; Porcionato; Castro, 2018). Na última safra, a Bahia produziu 8,84 milhões de

toneladas de soja, cultivadas em uma área de 2,1 milhões de hectares, uma produção superior à do Maranhão (4,8 milhões de ton.), Tocantins (5,3 milhões de ton.) e Piauí (3,7 milhões de ton.). A produtividade da região ficou em cerca de 4.142 kg/ha ou 69 sc/ha, enquanto que no Mato Grosso, o maior estado produtor de soja do país e com área plantada de 12,7 milhões de hectares, a produtividade foi de 4.028 kg/ha ou 67 sc/ha (CONAB, 2025a). Esses dados implicam que, mesmo em menor área plantada, o oeste baiano ainda mantém uma alta produtividade e qualidade em termos comparativos.

Portanto, o cultivo de soja está fortemente crescendo na região do oeste baiano, possibilitando um maior dinamismo e protagonismo diante da contribuição do MATOPIBA para a produção agrícola brasileira. E, conforme o espaço de cultivo cresce, maiores são as exigências do campo e a necessidade crucial de monitoramento das lavouras para a manutenção da cultura e planejamento de safras futuras.

3.2 Monitoramento agrícola

3.2.1 Monitoramento agrícola no Brasil

A produtividade agrícola, bem como outros indicativos, deve ser monitorada constantemente ao decorrer da safra, uma vez que semeaduras tardias, estresse hídrico, e o ataque de pragas e doenças, quando não detectados rapidamente, podem comprometer a produção dos grãos de soja e provocar perdas econômicas significativas (Zanon; Streck; Grassini, 2016; Pereira et al., 2024).

O monitoramento agrícola apresenta-se como uma forma de identificar os problemas no campo, de modo que possam ser tomadas decisões com antecipação. No Brasil, os principais levantamentos de dados agrícolas são realizados por órgãos oficiais como o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Alguns levantamentos mais locais, como para o oeste baiano, são realizados por associações e cooperativas, como a Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA).

Anualmente, o IBGE (2025b) divulga informações da pesquisa Produção Agrícola Municipal – PAM, na qual são contemplados dados municipais sobre os principais produtos provenientes de lavouras temporárias e permanentes. Trata-se da principal fonte de estatísticas de informações como a área plantada, área colhida e quantidade produzida dos municípios do Brasil. Os dados são obtidos por um agente de coleta, que consulta entidades públicas, iniciativas privadas, produtores e técnicos. A coleta de informações ocorre através da aplicação de um questionário em cada município, preenchido pelo Agente após o contato estabelecido

com os produtores ou órgãos de controle, e o acompanhamento é feito durante todo o andamento da safra. Portanto, o levantamento é direto e tradicional. O Instituto igualmente realiza o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, que também conta com uma metodologia tradicional e subjetiva, por meio de entrevista pessoal com questionário em papel (IBGE, 2025a).

Pino (2001) aponta que a subjetividade inerente desse tipo de levantamento pode trazer inconsistências à tona, pois as medições são grosseiras, pode haver falta de precisão da área, as opiniões podem ser enviesadas e os resultados altamente manipulados. Outra desvantagem está relacionada ao tempo gasto e os custos envolvidos na coleta em campo. Entretanto, em locais onde não há tecnologia disponível e nem técnicos qualificados para outro tipo de levantamento, essa forma de monitoramento, devido à sua viabilidade, é eficaz e muitas vezes a única fonte de dados disponível.

3.2.2 Monitoramento agrícola por sensoriamento remoto

Com a expansão da soja, o monitoramento eficaz e a previsão de safras tornam-se essenciais. Atualmente, os levantamentos de dados a campo ainda enfrentam limitações em termos de agilidade, confiabilidade e precisão. Nesse contexto, o sensoriamento remoto (SR) surge como uma ferramenta poderosa, que deve ser integrada aos métodos subjetivos para análise e estimativa de safras (Sanches, 2004; Adami et al., 2023).

O SR possibilita a obtenção de informações da superfície terrestre sem contato físico, permitindo a revisita do mesmo local em épocas distintas e a criação de séries temporais (Liu; Kogan, 2002; Gusso, 2013). A técnica baseia-se na detecção da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos, capturada por sensores instalados em plataformas como satélites ou aeronaves. Esses sensores convertem a energia recebida em imagens ou gráficos que representam as características espectrais dos alvos, como vegetação, solo e água (Novo, 2010; Xie; Sha; Yu, 2008).

A partir das informações captadas, derivam-se os índices de vegetação, que são expressões matemáticas que utilizam bandas do espectro eletromagnético, em especial as do vermelho e infravermelho próximo, pois estas contêm 90% da variação da resposta espectral da vegetação (Guedes; Silva, 2018). Entre os mais aplicados, destacam-se o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al., 1974), o *Enhanced Vegetation Index* (EVI) (Huete et al., 2002), o *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (Huete, 1988), o *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) (Gao, 1996) e o *Normalized Difference Red Edge Index*

(NDRE) (Barnes et al., 2000). Através dos índices, é possível inferir remotamente as condições da superfície, como a saúde da vegetação e a umidade do solo, reduzindo custos de campo e impactos ambientais (Karnieli, 2010).

As imagens obtidas por satélites possibilitam a criação de séries temporais, conjunto de dados coletados no decorrer dos anos de índices de vegetação, que monitoram o estado e a dinâmica da vegetação ao longo do tempo, servindo como indicadores do crescimento e vigor vegetativo. Com isso, permite-se a detecção de mudanças na lavoura durante a safra agrícola (Kuplich; Moreira; Fontana, 2013). Nos últimos 20 anos, o monitoramento remoto tem sido aplicado no acompanhamento do desenvolvimento da soja, na detecção de estresses abióticos e bióticos, na seleção e melhoramento de variedades, na estimativa de estande de plantas e área de produção, na previsão de colheita e de produtividade de uma safra (Czarnecki et al., 2025).

Gamba e Collicchio (2024), por exemplo, utilizaram imagens orbitais do satélite Landsat 8 e o algoritmo de Máxima Verossimilhança (MaxVer) para classificar e quantificar áreas de soja nos municípios de Formosa do Rio Preto/BA e Mateiros/TO, na safra de 2017/18. Entretanto, o estudo ainda utilizou informações da Agência de Defesa Agropecuária (ADAPEC) e idas ao campo, demonstrando como o SR pode ser integrado aos métodos subjetivos. Apesar da resolução moderada do Landsat em comparação a satélites de alta resolução (Phiri et al., 2020), as imagens orbitais se mostraram satisfatórias com a baixa presença de cobertura de nuvens. O mapeamento foi considerado excelente e os resultados atestaram conformidade existente no mapa temático produzido com a realidade do campo (diferença de 1,39% entre o que foi mapeado e o que realmente estava ocupado pela soja), fato que corrobora a eficiência do sensoriamento remoto para a discriminação e mapeamento de áreas de cultivo de soja.

Na tentativa de estimar a produtividade da soja no Centro-Oeste entre as safras 2019/20 a 2021/22, Pereira et al. (2025) compararam os índices NDVI, EVI, NDRE e NDMI e seus desempenhos. Para isso, a metodologia consistiu em uso de imagens do satélite Sentinel-2 combinado com dados históricos do IBGE, o que se demonstrou potencial para a construção de um modelo empírico de estimativa de produtividade da soja. Com relação aos índices, os modelos separados de EVI ($R^2 = 0,57$) e NDRE ($R^2 = 0,56$) apresentaram melhores resultados, dado que o EVI demonstra uma melhor relação linear na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação quando comparado ao NDVI e o NDRE tem demonstrado grande potencial para estimativas de produtividade. Contudo, o cenário com a combinação de todos os índices foi o que obteve melhor desempenho ($R^2 = 0,65$). Resultados semelhantes com o NDRE foram

encontrados por Santos et al. (2022), pois apresentou o maior ajuste linear ao mapa de zonas de potencial produtivo da soja ($R^2 = 0,58$).

Para caracterizar a cultura da soja associada à análise temporal e à fenologia, a pesquisa de Oliveira, Alves e Freitas (2025) buscou analisar e comparar o potencial de alguns índices, entre eles o NDVI, o SAVI, o IAF (Índice de Área Foliar) e a Razão Simples de Bandas (SR), usando imagens orbitais do Sentinel-2A e Sentinel-2B. A área de estudo foi em um pivô de uma fazenda no município de Luís Eduardo Magalhães, na região de Barreiras/BA. A série temporal (dezembro/2020 a março/2021) e os valores dos índices possibilitaram a diferenciação dos principais estádios da fenologia da soja, com destaque para R3 em que se observou o ápice de biomassa para todos os índices e queda de valores em R7-R8 conforme a perda de clorofila e desfolha natural. No geral, o NDVI e o SAVI melhor identificaram as mudanças fenológicas.

Leivas et al. (2022) também monitoraram a microrregião de Barreiras a partir de imagens obtidas do sensor MODIS e do Sentinel-2A, com série temporal de 2016 a 2021, para observar aumentos ou diminuições do NDVI e EVI ao longo do tempo e inferir sobre condições médias da cultura da soja na região. Os resultados comparados apontaram que as imagens do Sentinel-2A permitiram melhor discriminação da superfície, dada a sua resolução espacial de 10 m e temporal de 5 dias (ESA, 2025). Entre os índices, o EVI nesse estudo permitiu uma leitura mais precisa da vegetação na área, visto que o NDVI se apresentou mais saturado e homogêneo. Em suma, as curvas dos índices coincidiram com o calendário agrícola da soja e, juntamente com a média histórica da precipitação, foi possível monitorar as condições espectrais e o vigor da cultura.

Com base na literatura consultada, observa-se que as investigações fundamentadas em sensoriamento remoto, quando integradas a variáveis climáticas, potencializam a interpretação das respostas fisiológicas das plantas e ampliam as possibilidades de análise e aplicação. As informações disponibilizadas aos produtores rurais trazem luz aos problemas enfrentados no campo e contribuem para a identificação destes, além de apoiar a gestão técnica e auxiliar o planejamento de safras futuras através da estimativa de área e de produtividade, acompanhamento da fenologia, entre outros discutidos previamente.

A exemplo de divulgação, a CONAB publica mensalmente dois boletins informativos: o primeiro para o levantamento e acompanhamento da safra de grãos (CONAB, 2025b), e o segundo para monitoramento dos cultivos de verão/inverno (CONAB, 2025c). Nesse último, encontram-se dados de monitoramento das lavouras, monitoramento agrometeorológico de todo o Brasil e monitoramento espectral, apenas para o Sul e Centro-Oeste do país. Outras

regiões produtoras importantes não são incluídas. Portanto, é de grande relevância a prospecção de boletins de monitoramento agrícola, com uso de SR, para outras regiões que têm se destacado na produção agrícola, como o oeste baiano.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no oeste da Bahia, posicionado à margem esquerda do rio São Francisco e compreendido na região geográfica intermediária de Barreiras (IBGE, 2017). Essa região engloba duas regiões geográficas imediatas, os municípios de Barreiras e de Santa Maria da Vitória. Ao todo, 24 municípios constituem essa região intermediária, que tem área de 117.440,081 km².

A alta produtividade do oeste baiano, situado no bioma Cerrado, é favorecida sobretudo por características ambientais, como solos de textura arenosa e média excessivamente bem drenados, planos e favoráveis à mecanização (Cunha et al., 2001); clima semiárido com variações de subúmido e úmido, com estação de chuva e outra de seca; e a presença do aquífero Urucuia, que favorece a agricultura irrigada (Pereira, Porcionato e Castro, 2018).

Como proeminente produtor e exportador de grãos, o oeste baiano vem aumentando suas áreas de agricultura. A agricultura da região conta com mais de 2,4 milhões de hectares atribuídos a diversas culturas agrícolas. Destacam-se os municípios de Formosa do Rio Preto (503 mil ha), São Desidério (395 mil ha) e Barreiras (217 mil ha) na expansão do cultivo de soja (Tabela 2).

Tabela 2. Dados de área de soja (ha) nos municípios da região intermediária Barreiras, Bahia, em 2024.

| Município | Código | Soja (ha) | Município | Código | Soja (ha) |
|----------------------|---------|-----------|------------------------|---------|-----------|
| Angical | 2901403 | 31 | Jaborandi | 2917359 | 127.867 |
| Baianópolis | 2902500 | 15.994 | Luís Eduardo Magalhães | 2919553 | 197.172 |
| Barreiras | 2903201 | 217.923 | Mansidão | 2920452 | 0 |
| Brejolândia | 2904407 | 1 | Riachão das Neves | 2926202 | 125.822 |
| Canápolis | 2906105 | 0 | Santa Maria da Vitória | 2928109 | 29 |
| Catolândia | 2907400 | 0 | Santa Rita de Cássia | 2928406 | 543 |
| Cocos | 2908101 | 11.634 | Santana | 2928208 | 1.479 |
| Coribe | 2909109 | 87 | São Desidério | 2928901 | 395.205 |
| Cotegipe | 2909406 | 110 | São Félix do Coribe | 2929057 | 233 |
| Correntina | 2909307 | 205.163 | Serra Dourada | 2930303 | 2 |
| Cristópolis | 2909703 | 1 | Tabocas do Brejo Velho | 2930907 | 1.364 |
| Formosa do Rio preto | 2911105 | 503.717 | Wanderley | 2933455 | 3 |

Fonte: MAPBIOMAS (2025).

Para a seleção dos municípios a serem incluídos no boletim, estabeleceu-se que a área de soja deveria ser maior ou igual a 450 hectares, dada a relevância dos municípios com maior produção de soja. Ao total, 12 municípios foram selecionados: Baianópolis, Barreiras, Cocos, Correntina, Formosa do Rio Preto, Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves, Santa Rita de Cássia, Santana, São Desidério e Tabocas do Brejo Velho. A Figura 2 apresenta um mapa da área de estudo com o uso e cobertura do solo dos municípios englobados no estudo.

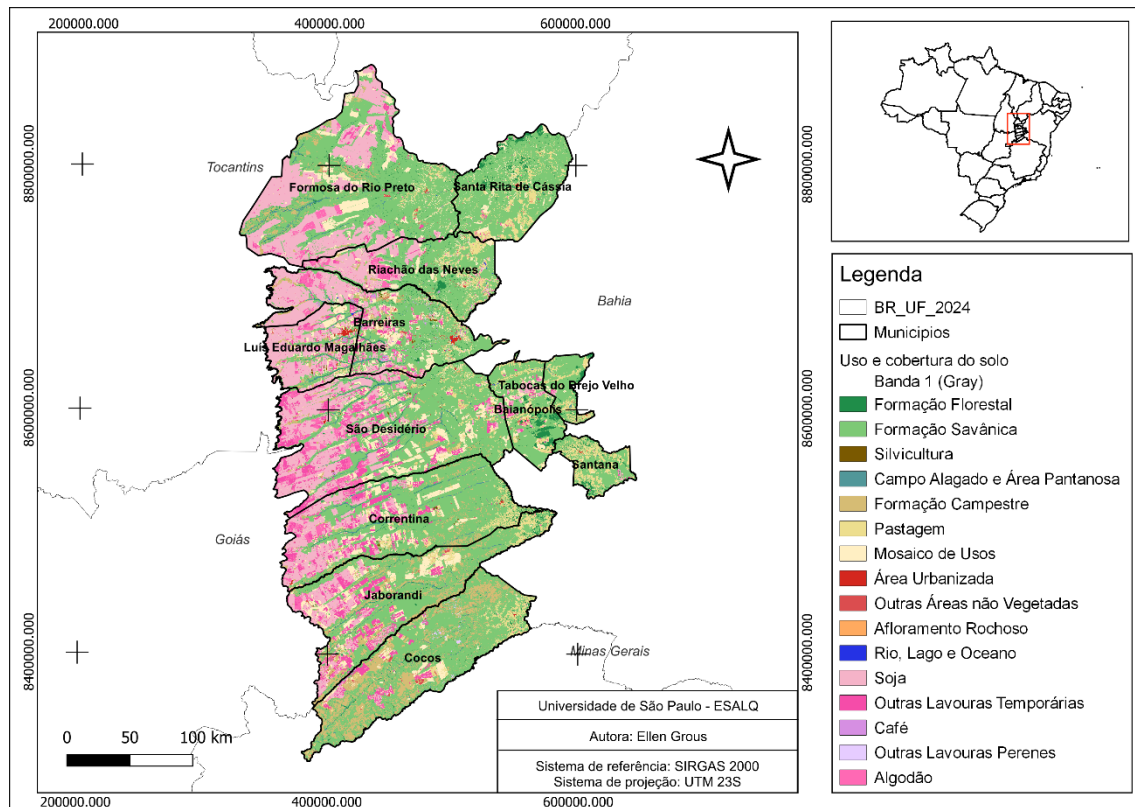


Figura 2. Mapa do uso e cobertura do solo da área de estudo.
Fonte: própria autora (2025).

Avaliando o contexto agrícola e o uso do solo, é possível observar que os municípios selecionados destinam grande parte de sua área para o cultivo de produção de outras lavouras temporárias, algodão e sobretudo para a soja.

4.2 Dados

Para o desenvolvimento do boletim de monitoramento agrícola de soja para o oeste baiano, utilizou-se um conjunto de dados referentes ao uso agrícola do solo, malhas territoriais, valores de índices de vegetação extraídos de imagens do satélite Sentinel-2, precipitação e produtividade real da soja.

Os dados de uso e cobertura do solo da Coleção 9 do MAPBIOMAS foram utilizados para identificação e classificação das áreas cultivadas na região, de modo que a soja foi identificada. O MAPBIOMAS é um projeto brasileiro colaborativo que disponibiliza o mapeamento anual da cobertura e uso da terra desde 2015 (Souza et al., 2020). Também foram utilizadas as malhas territoriais do IBGE e os códigos municipais para delimitação do espaço de interesse.

As imagens do satélite Sentinel-2, com resolução espacial de 10 e 20 metros, foram usadas para extrair os valores mensais dos índices de vegetação (NDVI, NDRE e NDMI) entre o período de 2019 a 2025. Além disso, também foram utilizados os dados de outubro de 2025, visto que a semeadura da soja na safra 2025/26 teve início em 08 de outubro de 2025. Por fim, foram utilizados dados mensais de precipitação de 1994 a 2024 e outubro de 2025 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF, 2025).

Para fins de avaliação dos índices de vegetação, foram obtidos do IBGE dados da quantidade produzida de soja em toneladas por município, para os anos de 2019 a 2024.

4.3 Metodologia

A metodologia do trabalho consistiu inicialmente em identificar as áreas de soja dos municípios da área de estudo. Em seguida foi feito o processamento das imagens do Sentinel-2 para retirada de inconsistências e nuvens e calculado os índices de vegetação. Dados de precipitação de outubro de 2025 também foram obtidos. Por fim, foi calculado um índice indicativo de anomalia para o NDVI. Além disso, também foi feita a relação entre os resultados do NDVI com a produtividade real do IBGE para a soja para as safras 2018 - 2024.

Os dados de uso e cobertura do solo da Coleção 9 foram obtidos a partir do projeto MAPBIOMAS (<https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>) para identificação da área de soja. As malhas territoriais dos municípios foram obtidas do IBGE (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias>) para o ano de 2024. Ambos serviram para a delimitação da área de estudo.

O processamento digital das imagens do Sentinel-2 (produtos Sentinel-2A e Sentinel-2B) foi executado no Google Colab, com o uso de um script em linguagem *Python* e comandos para remoção de nuvens e sombra. Foi possível extrair as imagens do Google Earth Engine para os anos agrícolas de 2018/19, 2019/20, 2020/21, 2021/22, 2022/23, 2023/24, 2024/25 e outubro de 2025, e calcular os índices de vegetação selecionados.

Quanto aos índices de vegetação, foram calculados o NDVI, NDRE1 e NDMI. O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) foi selecionado, pois é capaz de delinear a vegetação e o estresse vegetativo, consequentemente, pode ser aplicado para avaliar o vigor vegetativo de uma lavoura. O NDVI tem sido o índice de vegetação mais utilizado para obter as propriedades biofísicas da cobertura vegetal, estimar a produtividade e biomassa, entre outros (Huang et al., 2021; Bouskour; Bahatti; Zaggaf, 2023). O cálculo do NDVI é a razão entre a diferença da banda do infravermelho próximo (NIR) e o vermelho (Red), e a soma delas, podendo variar de -1 a 1 (Equação 1).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (1)$$

Em que:

NIR: infravermelho próximo, banda 8 (842 nm);

Red: vermelho, banda 4 (664 nm).

O *Normalized Difference Red Edge Index* (NDRE), apesar de sua semelhança com o NDVI, permite avaliar mais precisamente o conteúdo de clorofila das folhas e estresses nutricionais, especialmente do nitrogênio, em razão da banda borda do vermelho, que captura com sensibilidade as transições das atividades fotossintéticas. Por isso, este índice é preferível quando o NDVI alcança a saturação (Davidson et al., 2022). A banda 5 (RedEdge1) foi utilizada, pois apresentou melhores resultados por Silva, Azevedo e Luciano (2024).

$$\text{NDRE1} = \frac{\text{NIR} - \text{RedEdge1}}{\text{NIR} + \text{RedEdge1}} \quad (2)$$

Em que:

NIR: infravermelho próximo, banda 8 (842 nm);

RedEdge1: borda do vermelho, banda 5 (705 nm).

O *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) é capaz de avaliar a condição hídrica da lavoura, pois é inferido através do infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR), que é uma banda sensível à água nas folhas (Equação 3). Sua seleção se deu pela sua aplicabilidade em identificar o estresse hídrico (Lykhovyd; Sharii, 2024).

$$\text{NDMI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR1}}{\text{NIR} + \text{SWIR1}} \quad (3)$$

Em que:

NIR: infravermelho próximo, banda 8 (842 nm);

SWIR1: infravermelho de ondas curtas, banda 11 (1610 nm).

Os índices foram calculados para os anos de 2019 a 2025, para os 12 municípios da área de estudo. A média histórica contemplou os meses de outubro a maio, período em que a soja é cultivada no oeste baiano. A média de outubro de 2025 também foi integrada aos dados, pois foi o momento em que se iniciou a safra 2025/26. O clima foi incluído na proposta do boletim por meio da precipitação (mm) de cada município. Esses dados foram obtidos do ECMWF a partir de um script em *Python* executado no Google Colab. A média histórica foi de 30 anos (1994 – 2024). A precipitação do mês de outubro de 2025 também foi incorporada.

O processamento manual de todos os dados e a criação do layout tornou o método oneroso nesta primeira etapa do desenvolvimento do boletim. Como perspectivas futuras do projeto, está a automatização dos processos e o ganho de tempo.

Para a prospecção do boletim, optou-se por incluir apenas o NDVI como índice de vegetação, dada à sua extensa utilização pela literatura, à sua popularidade e facilidade de compreensão, além do uso de bandas multiespectrais de fácil obtenção (Huang et al., 2021). Com o intuito de calcular o desempenho mensal e criar um “semáforo”, a metodologia de anomalia do NDVI do GEOGLAM Crop Monitor (2025) (Equação 4) foi usada. Através dela, criou-se uma escala avaliativa do vigor vegetativo. O uso do termo “vigor vegetativo” foi empregado no boletim como um termo didático para os produtores rurais, e não em referência ao valor bruto do NDVI.

$$\text{Anomalia NDVI} = \frac{\text{NDVI atual} - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

Em que:

NDVI atual: índice do mês vigente;

μ : média mensal do NDVI histórico;

σ : desvio padrão da média histórica.

A escala avaliativa do vigor pode ser visualizada na Tabela 3 e serve como um “semáforo” para o leitor reconhecer se há ou não problemas na lavoura na área durante a safra vigente. Posteriormente, essa escala foi atribuída a um mapa de vigor vegetativo, com identificação das áreas de soja, executado no QGIS.

Tabela 3. Escala avaliativa para as áreas de soja nos municípios avaliados.

| Escala | Avaliação | Cor |
|--------------------------|-----------|----------|
| $\text{Vigor} \geq 0,2$ | Estável | Verde |
| $0 < \text{vigor} < 0,2$ | Atenção | Amarelo |
| $\text{Vigor} < 0$ | Alerta | Vermelho |

Fonte: própria autora (2025).

Foi elaborado um design visual para o boletim na plataforma Canva, abarcando em seu conteúdo as cores referentes à identidade visual do grupo YouthMappers ESALQ/USP, as orientações de uso do boletim, o mapa do vigor vegetativo, as séries temporais do NDVI e o desempenho de outubro de 2025, a nível municipal.

Em resumo, a figura 3 apresenta de forma esquemática a metodologia adotada para a prospecção do boletim agrícola.

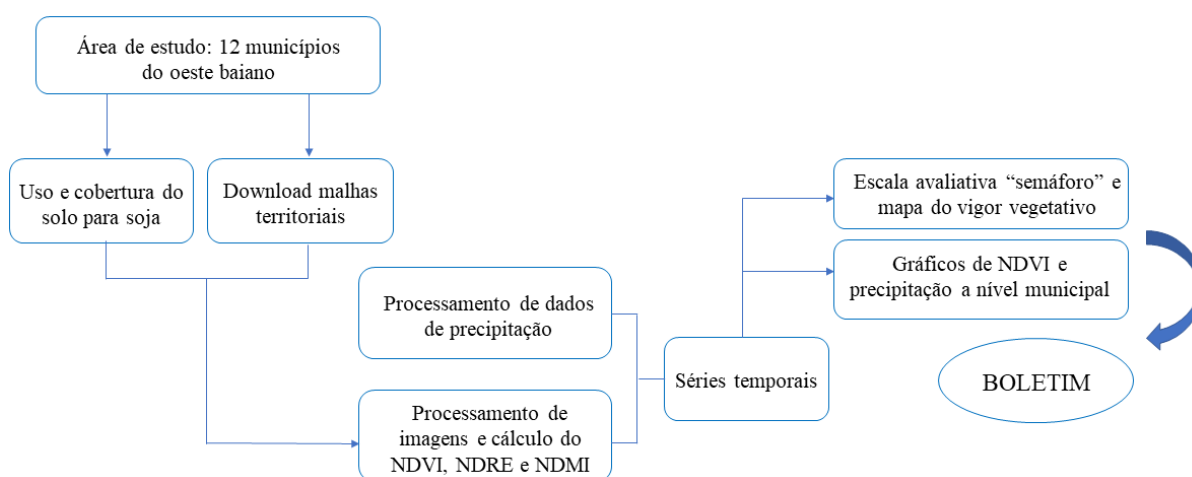


Figura 3. Fluxograma da metodologia adotada.

Fonte: própria autora (2025).

Por fim, para avaliar os índices de vegetação e comparar as respostas espectrais com dados reais de produtividade, foram adquiridos dados da SIDRA – IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>) da área colhida e da quantidade de soja em grão produzida (kg) por município, de 2019 a 2024. O mês de janeiro foi considerado como o ápice da resposta espectral, momento em que se encontram os estádios mais determinantes da soja (R4-R7) (Cerrudo; Naeve, 2024), se realizada a semeadura em outubro. Por isso, os valores de NDVI de janeiro (2019 – 2024) foram relacionados com os dados de produtividade e avaliado o coeficiente de determinação (R^2).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Monitoramento da soja para o mês de outubro de 2025

Os resultados deste trabalho são referentes aos dados obtidos da soja em outubro de 2025 na área de estudo. O município que apresentou o maior vigor vegetativo em outubro foi Jaborandi com NDVI igual a 0,30, enquanto Formosa do Rio Preto e Tabocas do Brejo Velho obtiveram o menor valor do NDVI (0,15). A média do índice de todos os municípios foi de 0,18 (Tabela 4). Os municípios de Barreiras, Correntina, Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves e Santana apresentaram NDVI abaixo da média histórica do mês de outubro.

Tabela 4. NDVI de outubro de 2025 e médio histórico de outubro da área de estudo.

| Município | NDVI out. 2025 | NDVI médio out. |
|------------------------|----------------|-----------------|
| Baianópolis | 0,17 | 0,15 |
| Barreiras | 0,17 | 0,19 |
| Cocos | 0,22 | 0,22 |
| Correntina | 0,17 | 0,18 |
| Formosa do Rio Preto | 0,15 | 0,14 |
| Jaborandi | 0,30 | 0,26 |
| Luís E. Magalhães | 0,17 | 0,18 |
| Riachão das Neves | 0,20 | 0,21 |
| Santa Rita de Cássia | 0,17 | 0,16 |
| Santana | 0,19 | 0,24 |
| São Desidério | 0,16 | 0,16 |
| Tabocas do Brejo Velho | 0,15 | 0,16 |
| Média | 0,18 | |

Fonte: Sentinel-2, processamento via Google Earth Engine (2025).

Araujo et al. (2025) obtiveram uma média semelhante (NDVI = 0,17) em São Desidério/BA durante a germinação, após plantio em dezembro, mas com 35 dias após semeadura a média foi de 0,53. Andrade et al. (2022), no Piauí, obtiveram NDVI de 0,20 – 0,40 com 29 dias após semeadura. Os valores de NDVI registrados, inferiores aos encontrados na literatura, podem ser atribuídos a dois fatores: apenas 19,5% da área total estimada de soja foi semeada até o final de outubro (AIBA, 2025), o que influencia na cobertura vegetal (menor biomassa e densidade foliar, mais solo exposto); e as chuvas não atingiram o esperado sobre o território baiano em outubro (INEMA, 2025), prejudicando o desenvolvimento pleno da soja.

Este último motivo pode explicar porque Jaborandi obteve o maior vigor, visto que em setembro - mês de estiagem na região - a sua precipitação foi a maior (3,35 mm) (Tabela 5). Com o acúmulo no solo e precipitação mensal de outubro, a soja plantada se desenvolveu com mais vigor, ou talvez o município tenha iniciado sua semeadura antes dos demais. O oposto se

aplica a Tabocas do Brejo Velho, que teve precipitação muito baixa (0,39 mm) e o menor vigor vegetativo. De modo geral, em todos os municípios a precipitação acumulada de outubro de 2025 está abaixo da média histórica, o que ocasiona um cenário instável para o plantio e estabelecimento da cultura. Todavia, a soja consegue tolerar curtos períodos de déficit hídrico, como na semeadura à emergência, devido ao sistema radicular profundo, mas é bem sensível no florescimento e enchimento de grãos (Farias et al., 2001).

Tabela 5. Precipitação acumulada (mm) de setembro de 2025, outubro de 2025 e média histórica de outubro da área de estudo.

| Município | Precipitação set. 2025 (mm) | Precipitação out. 2025 (mm) | Precipitação média out. (mm) |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Baianópolis | 1,46 | 13,10 | 60,97 |
| Barreiras | 1,30 | 15,19 | 62,78 |
| Cocos | 2,93 | 38,16 | 66,81 |
| Correntina | 2,34 | 33,07 | 75,48 |
| Formosa do Rio Preto | 0,34 | 43,62 | 69,11 |
| Jaborandi | 3,35 | 37,60 | 73,32 |
| Luís E. Magalhães | 2,36 | 25,25 | 85,81 |
| Riachão das Neves | 0,36 | 23,44 | 54,81 |
| Santa Rita de Cássia | 0,17 | 10,00 | 49,67 |
| Santana | 0,05 | 38,52 | 52,94 |
| São Desidério | 1,84 | 24,74 | 73,16 |
| Tabocas do Brejo Velho | 0,39 | 10,52 | 61,26 |

Fonte: ECMWF (2025).

A Figura 4 apresenta os gráficos de combinação compostos pelo NDVI e precipitação de cada município da área de estudo. A série temporal do NDVI (2019-2025) possibilitou a visualização do padrão do comportamento temporal do índice em áreas de soja, que possui uma sazonalidade evidente, em que no plantio e colheita os valores são extremamente baixos e, no auge do desenvolvimento, são muito elevados, padrão também registrado pela EMBRAPA (2025). Com a atualização mensal, possibilita-se inferir a tendência da safra e mudanças substanciais, caso ocorram em detrimento de estresses.

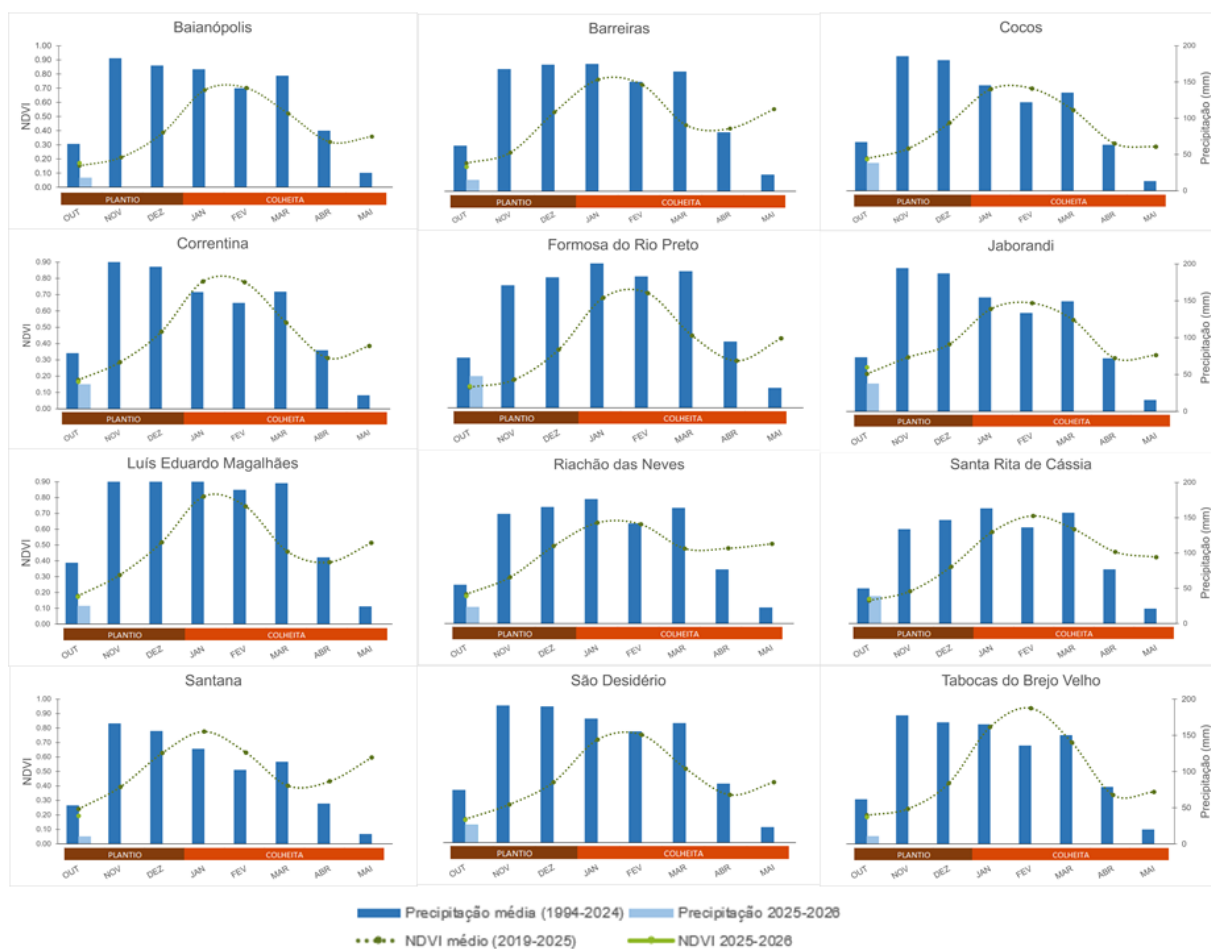


Figura 4. NDVI e precipitação de outubro de 2025 da área de estudo.

Fonte: própria autora (2025).

Quanto aos dados obtidos do NDRE1, Jaborandi novamente apresentou o maior valor do índice ($\text{NDRE1} = 0,20$) e Tabocas do Brejo Velho, o menor ($\text{NDRE1} = 0,08$) (Tabela 6). A média de NDRE1 de todos os municípios foi 0,10.

Tabela 6. NDRE1 de outubro de 2025 e médio histórico de outubro da área de estudo.

| Município | NDRE1 out. 2025 | NDRE1 médio out. |
|------------------------|--------------------|------------------|
| Baianópolis | 0,09 | 0,09 |
| Barreiras | 0,09 | 0,10 |
| Cocos | 0,12 | 0,13 |
| Correntina | 0,10 | 0,10 |
| Formosa do Rio Preto | 0,08 | 0,07 |
| Jaborandi | 0,20 | 0,16 |
| Luís E. Magalhães | 0,10 | 0,10 |
| Riachão das Neves | 0,11 | 0,11 |
| Santa Rita de Cássia | 0,10 | 0,09 |
| Santana | 0,11 | 0,14 |
| São Desidério | 0,09 | 0,09 |
| Tabocas do Brejo Velho | 0,08 | 0,09 |
| Média | 0,10 | |

Fonte: Sentinel-2, processamento via Google Earth Engine (2025).

A comparação entre os valores mensais e a média histórica teve resultados semelhantes aos do NDVI, em que alguns municípios (Barreiras, Cocos, Santana e Tabocas do Brejo Velho) obtiveram NDRE1 abaixo da média histórica de outubro. Entretanto, todos os valores de NDVI ainda foram maiores, devido à sua maior propensão à saturação, enquanto o NDRE é mais sensível às mudanças sutis na saúde da planta e menos propenso à saturação (Carrijo; Borges; Souza, 2021). Os valores iniciais mais altos de NDVI e mais baixos de NDRE sugerem que esse índice de vegetação é mais eficiente em detectar alterações no desenvolvimento da cultura antecipadamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Ferreira et al. (2024) que observaram dados médios de NDVI superiores (0,72) aos de NDRE (0,07), o que indica que o NDVI, apesar de captar o crescimento de biomassa no início, tende a saturar mais rapidamente.

O NDRE, portanto, apresenta-se como mais adequado para identificar estresses na vegetação antes da perda de vigor e indicar o teor de clorofila com mais precisão, nos estágios de crescimento intermediário e final. O NDVI, por sua vez, é mais eficiente em identificar a biomassa e densidade foliar principalmente nos estágios iniciais da cultura (Boiarskii; Hasegawa, 2019; Xie et al., 2018).

Embora existam as diferenças entre ambos os índices, nesse primeiro momento de avaliação no início da safra, a discrepância de valores muito provavelmente é explicada pela falta de estabelecimento da soja e das chuvas insatisfatórias de outubro. A Figura 5 apresenta os gráficos de NDRE1 e precipitação de cada município da área de estudo.

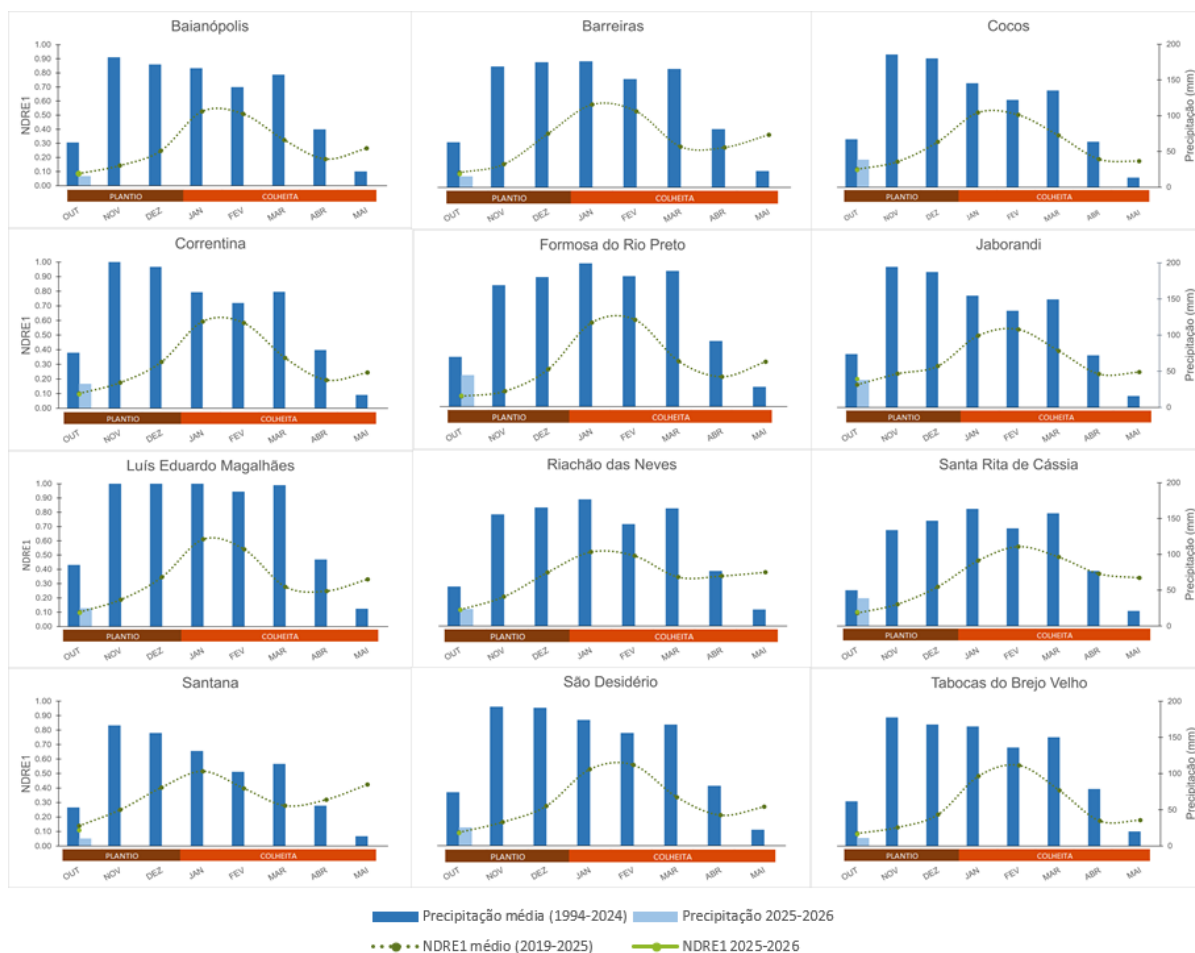


Figura 5. NDRE1 e precipitação de outubro de 2025 da área de estudo.

Fonte: própria autora (2025).

Os resultados obtidos da derivação do NDMI corroboram com o estresse hídrico provocado pela falta de chuva dos últimos meses na região do oeste baiano. Seus valores também variam de -1 a 1, e como a banda do infravermelho de ondas curtas (SWIR) é sensível ao conteúdo de água nas folhas, o estresse hídrico é indicado por valores negativos próximos a -1, como foi observado no presente trabalho (Tabela 7). O município de Jaborandi novamente apresentou o maior valor ($\text{NDMI} = -0,07$) e Tabocas do Brejo Velho o menor valor ($\text{NDMI} = -0,27$), o que reforça os resultados já apresentados anteriormente sobre a precipitação e os demais índices de vegetação.

Segundo Lykhovyd e Sharii (2024), a interpretação dos valores de NDMI entre -0,2 e 0, a faixa dos resultados obtidos, é a de que a vegetação está moderadamente fraca e o estresse hídrico alto, ou que a cobertura vegetal é extremamente fraca e está sob estresse hídrico moderado. Essa interpretação é condizente com o cenário atual da soja na área de estudo, visto que a cultura está se estabelecendo e as chuvas foram insuficientes.

Tabela 7. NDMI de outubro de 2025 e médio histórico de outubro da área de estudo.

| Município | NDMI out. 2025 | NDMI médio out. |
|------------------------|----------------|-----------------|
| Baianópolis | -0,21 | -0,22 |
| Barreiras | -0,18 | -0,21 |
| Cocos | -0,15 | -0,17 |
| Correntina | -0,20 | -0,24 |
| Formosa do Rio Preto | -0,16 | -0,22 |
| Jaborandi | -0,07 | -0,18 |
| Luís E. Magalhães | -0,19 | -0,22 |
| Riachão das Neves | -0,16 | -0,19 |
| Santa Rita de Cássia | -0,23 | -0,19 |
| Santana | -0,15 | -0,16 |
| São Desidério | -0,20 | -0,22 |
| Tabocas do Brejo Velho | -0,27 | -0,26 |
| Média | -0,18 | |

Fonte: Sentinel-2, processamento via Google Earth Engine (2025).

Slaiffer et al. (2025) obtiveram resultados similares para a soja em área de sequeiro em Cachoeira do Sul/RS, em condições de poucas chuvas em novembro (25 mm), momento da semeadura. O valor mínimo de NDMI chegou a -0,25 e o máximo a 0,57 com o aumento gradual das chuvas de verão. O mesmo foi constatado por Araujo et al. (2025) em São Desidério/BA, pois em dezembro a média do NDMI obtida foi de -0,31 e em fevereiro foi 0,38, um aumento substancial com as precipitações elevadas de janeiro e fevereiro (333,20 mm), e um declínio novamente até -0,27 em maio com a redução das chuvas (4,6 mm) e a colheita.

A sensibilidade do NDMI e sua capacidade de declinar em resposta à redução das chuvas o caracterizam como um índice de vegetação prático para o acompanhamento do estresse hídrico de uma lavoura (Taloor; Manhas; Kothyari, 2021). A Figura 6 apresenta os valores de NDMI e precipitação de cada município da área de estudo. O padrão histórico da soja se mantém, mas com valores negativos até meados de dezembro, quando as chuvas de verão iniciam e favorecem o desenvolvimento da soja.

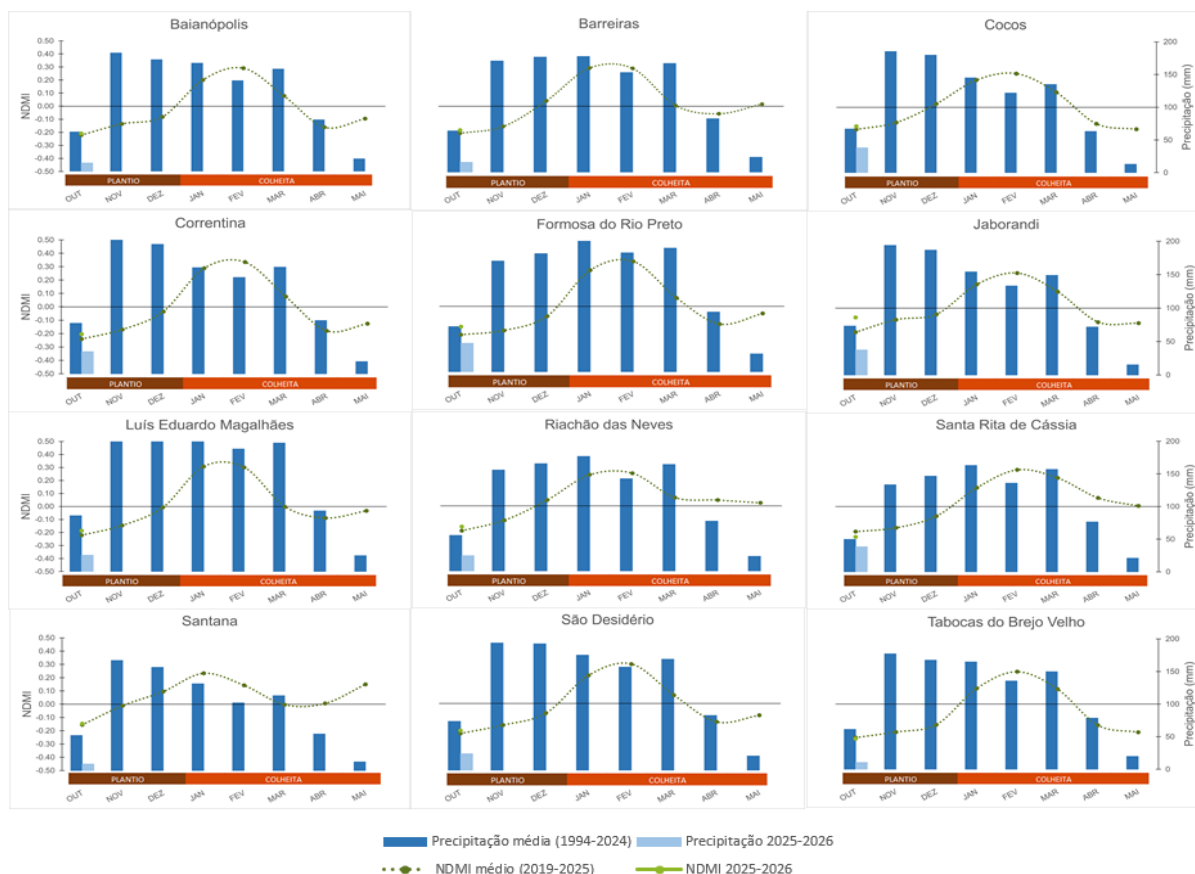














Figura 6. NDMI e precipitação de outubro de 2025 da área de estudo.

Fonte: própria autora (2025).

5.2 Boletim de monitoramento agrícola – perspectivas futuras

O município de Jaborandi, que apresentou o maior vigor vegetativo de NDVI, NDREI e NDMI, foi classificado como estável. Baianópolis, Cocos, Formosa do Rio Preto, Santa Rita de Cássia e São Desidério estão em atenção. E os municípios de Barreiras, Correntina, Luís Eduardo Magalhães, Riachão das Neves, Santana e Tabocas do Brejo Velho se encontram em estado de alerta, de acordo com a classificação (Tabela 8).

Tabela 8. Avaliação do vigor vegetativo do NDVI dos municípios da área de estudo.

| Município | Anomalia NDVI | Avaliação | Cor |
|------------------------|---------------|-----------|---|
| Baianópolis | 0,09 | Atenção |  |
| Barreiras | -0,13 | Alerta |  |
| Cocos | 0 | Atenção |  |
| Correntina | -0,05 | Alerta |  |
| Formosa do Rio Preto | 0,02 | Atenção |  |
| Jaborandi | 0,25 | Estável |  |
| Luís E. Magalhães | -0,02 | Alerta |  |
| Riachão das Neves | -0,07 | Alerta |  |
| Santa Rita de Cássia | 0,05 | Atenção |  |
| Santana | -0,27 | Alerta |  |
| São Desidério | 0 | Atenção |  |
| Tabocas do Brejo Velho | -0,04 | Alerta |  |

Fonte: própria autora (2025).

O mapa com a avaliação do vigor vegetativo distribuída pela área de soja em cada município pode ser visualizado na Figura 7. Com esse mapa associado ao boletim, os produtores rurais serão capazes de facilmente localizar a sua região de plantio e identificar a classificação do vigor da soja através da respectiva cor.

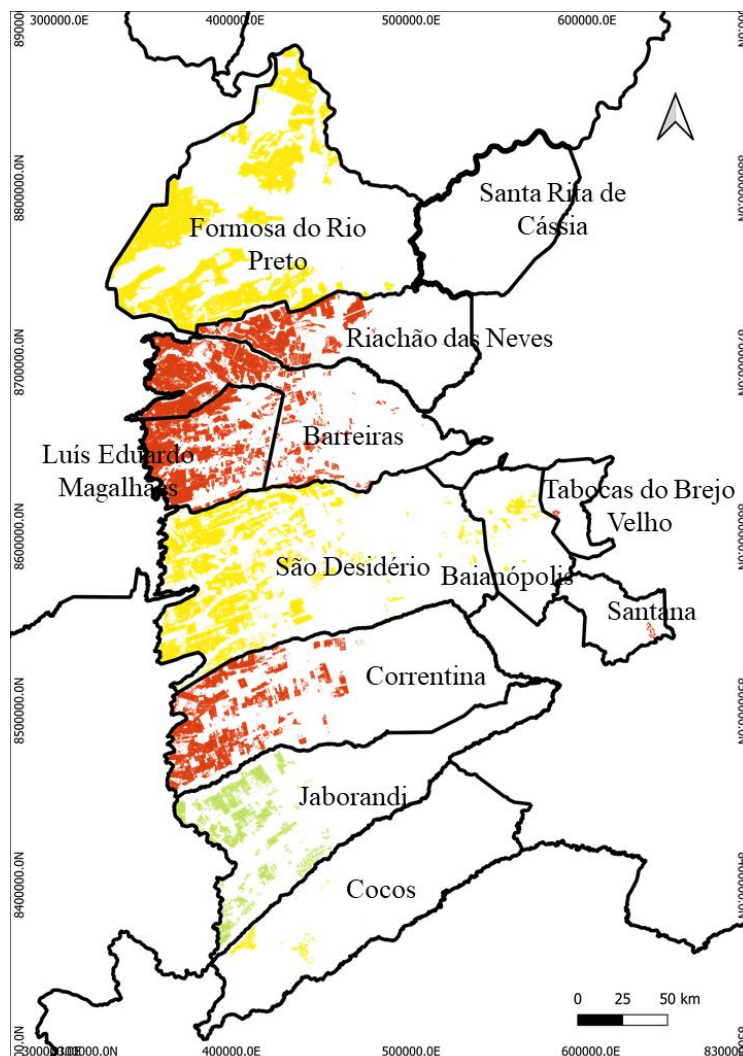


Figura 7. Mapa da avaliação do vigor vegetativo da área de estudo.

Fonte: própria autora (2025).

Com todas as informações e dados disponíveis, o boletim de monitoramento agrícola da soja para o oeste baiano foi prospectado (Figura 8) e divulgado no dia 13 de novembro de 2025 através das redes sociais Instagram e LinkedIn do YouthMappers ESALQ/USP (@youthmappers.esalq.usp). A divulgação contou com a disponibilização do PDF e de um vídeo informativo, que foi postado nas redes sociais.

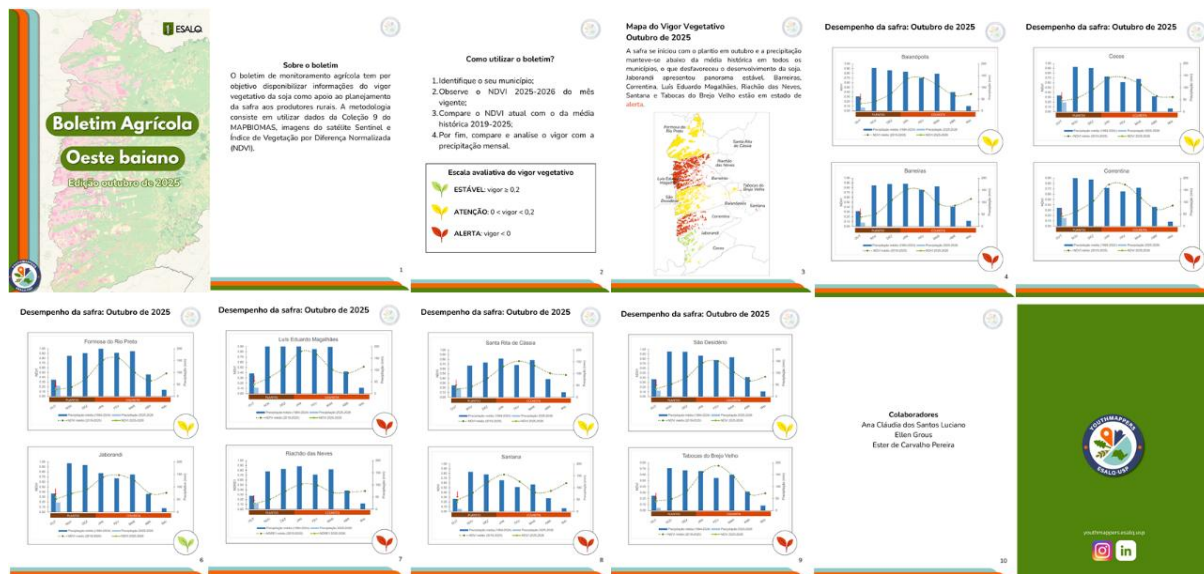


Figura 8. Boletim Agrícola do Oeste baiano, edição de outubro de 2025.
Fonte: própria autora (2025).

5.3 Relação entre a produtividade municipal e o NDVI

Na Figura 9, encontram-se os gráficos da relação entre o NDVI e a produtividade real de cada município. O coeficiente de determinação (R^2) do NDVI foi de 0,63 em 2020, diferentemente do observado em 2023, em que valor foi de 0,03. Nos demais anos, o R^2 não ultrapassou os 40%, o que sugere que talvez apenas o NDVI não consiga explicar tão bem a variação de produtividade, visto que esta é determinada por uma série de fatores, como a nutrição e o tipo de solo, a disponibilidade hídrica, a cultivar utilizada, o enchimento de grãos, entre outros. Caron e Minuzzi (2022) relataram resultados muito parecidos em um estudo de 2003 a 2013 em Sapezal/MT utilizando imagens obtidas pelo sensor MODIS, em que o R^2 foi 0,63 para a relação da produtividade e o NDVI, entre 40 a 80 dias após a semeadura. Entretanto, seus resultados apontam que o EVI foi mais satisfatório quanto às correlações significativas se comparado ao NDVI, ao que os autores atribuem à saturação rápida do índice.

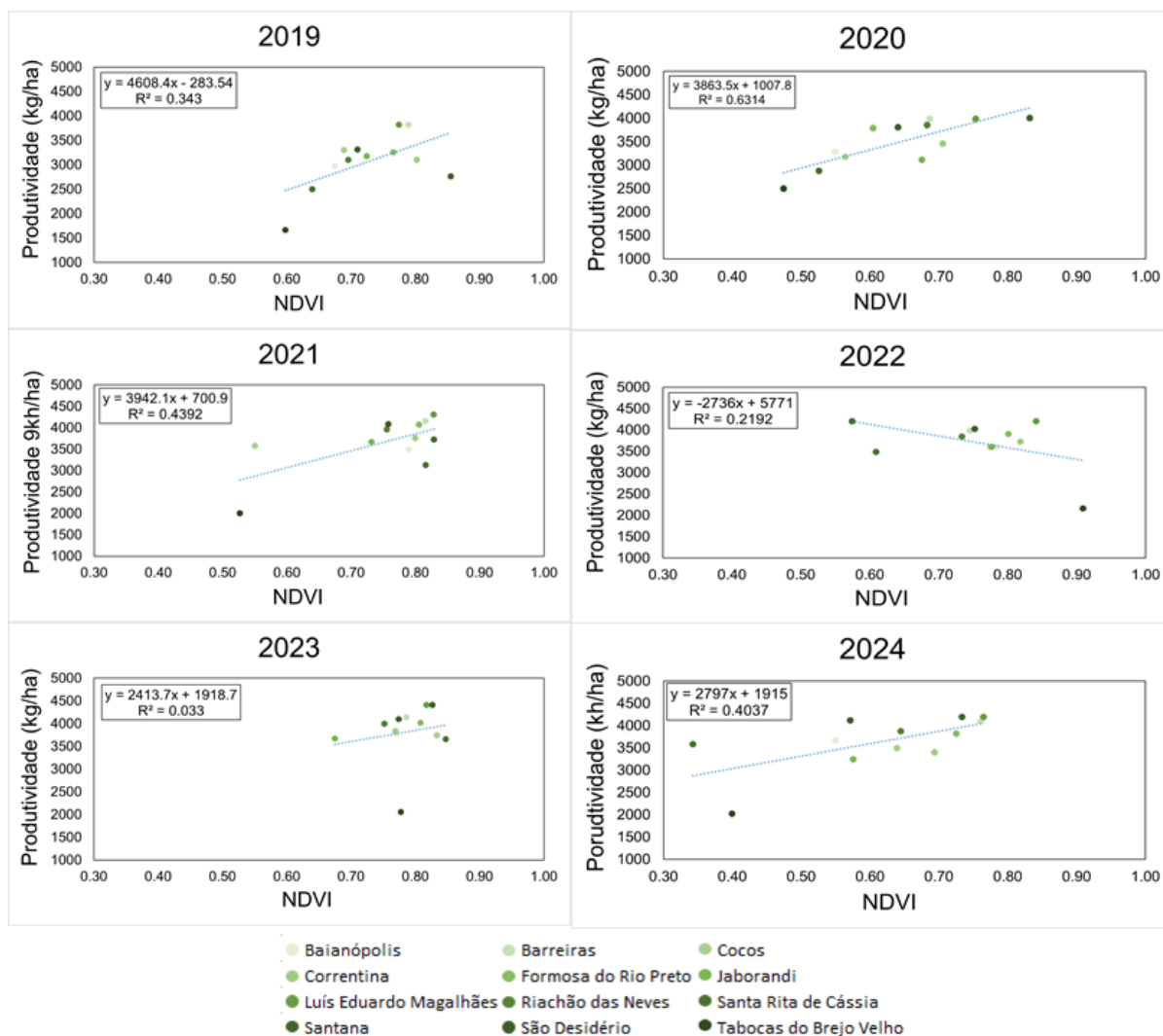


Figura 9. Relação entre produtividade municipal e NDVI para 2019 a 2024.

Fonte: própria autora (2025).

Buscando avaliar o grau de ajuste linear entre mapas de zona de potencial produtivo da soja com índices de vegetação em Candido Mota/SP, Santos et al. (2022) obtiveram $R^2 = 0,46$ para NDVI, um valor bem próximo ao obtido em 2021 (0,44) no presente trabalho, entretanto, as imagens do Sentinel-2A dos autores foram capturadas no estágio fenológico R1 e os dados de produtividade foram obtidos por colhedora no local de estudo.

A busca da relação entre essas variáveis é importante, pois como apontado pela literatura, no Brasil os levantamentos e monitoramentos agrícolas são feitos majoritariamente de forma subjetiva. Como este trabalho buscou realizar tal atividade remotamente, relacioná-los pode servir de integração entre os métodos e, de modo geral, aplicar os resultados a novas metodologias.

Uma aplicação muito evidente destas variáveis se dá no seguro rural, que é um instrumento financeiro para assegurar grupos expostos a riscos, através da indenização. É uma forma de proteção contra perdas repentinas e as imagens de observação da Terra possibilitam a detecção de danos à vegetação, possibilitando que o requerente verifique se foi afetado pelos riscos (Leeuw et al., 2014).

A exemplo disso, o Banco do Brasil utiliza o NDVI para apuração do valor de indenização, por meio da análise de até 5 anos-safra da condição da vegetação a partir de imagens dos satélites PLANET e do Sentinel-2 (BRASIL, 2023). Também é de obrigação do segurado atingir a Produtividade Esperada em sua lavoura, conduzindo-a de acordo com o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Isto é, ambas as informações relacionadas no presente trabalho – produtividade anual do IBGE e NDVI - são de utilização prática ao produtor rural e demais instituições. Uma correlação positiva entre produtividade da soja e NDVI pode ser benéfica na obtenção da indenização, especialmente em regiões mais secas, como o oeste baiano. Sugere-se a continuidade das análises para posteriores contribuições.

6 CONCLUSÕES

Foi possível explorar de forma viável a capacidade das imagens do satélite Sentinel-2 e dos índices NDVI, NDRE1 e NDMI para a prospecção de um boletim de monitoramento agrícola para o oeste baiano, que foi elaborado e divulgado com êxito. O NDVI apresentou ser um índice adequado para o monitoramento da soja, apesar de suas limitações em relação a saturação. No entanto, índices como NDMI também representam potencial no monitoramento da safra, visto que possuem grande relação com a disponibilidade de água. A obtenção da relação do NDVI com a produtividade oficial também se mostrou valiosa para estudos futuros e aplicações práticas. Por conseguinte, todos os objetivos foram alcançados consistentemente, o que evidencia o potencial do sensoriamento remoto em dar suporte para o acompanhamento e planejamento da safra da soja na região do oeste da Bahia.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. et al. Rumo a estimativa objetivas de safras agrícolas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Inpe, 2023. p. 2133-2136. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/04.29.20.52/doc/156102.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.
- AIBA. **Boletim AIBA: Panorama para a estimativa da produção de grãos do Oeste da Bahia – Safra 2025/26**. (Circular Nº 02). 2025. Disponível em: https://aiba.org.br/novo/public_aiba/boletim-aiba/2025/arquivos/circular-02-2025-10-27.pdf. Acesso em: 14 nov. 2025.
- ANDRADE, T. G. et al. SOYBEAN YIELD PREDICTION USING REMOTE SENSING IN SOUTHWESTERN PIAUÍ STATE, BRAZIL. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 1, p. 105–116, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- ARAUJO, R. W. O. et al. Utilização de imageamento multiespectral por satélite para monitoramento de ciclo fenológico da cultura da soja. **Boletim de Conjuntura**, Boa Vista, v. 67, n. 23, p. 197-224, jul. 2025. Disponível em: <https://revista.ioles.com.br/boca/index.php/revista/article/view/7457/1520>. Acesso em: 24 out. 2025.
- BARNES, E. M. et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. **Proc. 5Th Int. Conf. Precis Agric**, Bloomington, v. 1, n. 1, p. 1-15, jul. 2000. Disponível em: <https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/1356.pdf>. Acesso em: 06 out. 2025.
- BATISTA, M. L. B. et al. Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 3, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/34RnBZLjRFZVdCZHP4SBR4z/?format=html&lang=pt>. Acesso em 28 set. 2025.
- BELCHIOR, E. B.; ALCÂNTARA, P. H. R.; BELCHIOR, E. B. **Perspectivas e desafios para a região do MATOPIBA**. (16. ed.). Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1065435/1/CNPASA2017fa16.pdf>. Acesso em 29 set. 2025.
- BOIARSKII, B.; HASEGAWA, H.. Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect Differences in Vegetation and Chlorophyll Content. **Journal Of Mechanics Of Continua And Mathematical Sciences**, v. 1, n. 4, p. 20-29, 11 nov. 2019. Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences. Disponível em: https://www.journalimcms.org/special_issue/comparison-of-ndvi-and-ndre-indices-to-detect-differences-in-vegetation-and-chlorophyll-content/. Acesso em: 15 nov. 2025.
- BOUSKOUR, S.; BAHATTI, L.; ZAGGAF, M. H.. The use of NDVI to improve cereals agriculture: A review. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE RESEARCH IN APPLIED SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY, 3., 2023, Mohammedia. **Anais [...]**. Marrocos: Iraset, 2023. p. 1-7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10153054>. Acesso em: 18 nov. 2025.
- BRASIL. Decreto nº 8.447, de 6 de maio de 2015. **Dispõe sobre o Plano de Desenvolvimento Agropecuário do Matopiba e a criação do seu Comitê Gestor**. Brasília, 06 maio de 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/d8447.htm. Acesso em 28 set. 2025.
- BRASIL. BB Seguros. **Seguro rural: seguro agrícola, condições gerais e especiais**. [São Paulo]: BRAISLSEG Companhia de Seguros, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/produtos-de-seguro-rural-1/graos/brasilseg/cg-agricola-flex-1-1-brasilseg.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Portaria nº 1.271 de 30 de abril de 2025**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 maio de 2025. Seção 1. p. 5. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sanidade-animal-e-vegetal/sanidade-vegetal/PORTARIASDA_MAPAN1.271DE30DEABRILDE2025PORTARIASDA_MAPAN1.271DE30DEABRILDE2025DOUImprensaNacional.pdf. Acesso em: 28 set. 2025.

CARON, M. L.; MINUZZI, R. B. Estimativa de produtividade de soja com uso de perfis temporais de índices de vegetação do sensor MODIS no município de Sapezal, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 3, p. 1660–1675, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/251960>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CARRIJO, W. R.; BORGES, M. T.; SOUZA, F. G.. COMPARAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES NDVI E NDRE PARA IDENTIFICAÇÃO DE ESTRESSE NO PLANTIO ANTES DE TER O VIGOR VEGETATIVO AFETADO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 50., 2021, **Anais [...]**. Conbea, 2021. p. 1-4. Disponível em: <https://conbea.sbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2021/anais-2021/geomatica-instrumentacao-e-agricultura-de-precisao-giap-3/3291-comparacao-entre-os-indices-ndvi-e-ndre-para-identificacao-de-estresse-no-plantio-antes-de-ter-o-vigor-vegetativo-afetado/file>. Acesso em: 16 nov. 2025.

CERRUDO, A.; NAEVE, S. L. Redefining soybean critical period for yield determination. **Field Crops Research**, [S.L.], v. 321, p. 109662, fev. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429024004155>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CONAB. **Safra Brasileira de Grãos**. 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos>. Acesso em: 27 out. 2025.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos – 12º levantamento Safra 2024/25**. Brasília: CONAB, v. 12, n. 12, 2025b. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdf. Acesso em: 28 set. 2025.

CONAB. **Boletim de monitoramento agrícola: cultivos de inverno e verão**. Brasília: CONAB, v. 14, n. 10, 2025c. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/monitoramento-agricola/boletim-de-monitoramento-dos-cultivos-de-verao-inverno-outubro-2025>. Acesso em: 28 set. 2025.

CUNHA, T. J. F. et al. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob cerrado. **Ciência Rural**, v. 31, n. 1, p. 27–36, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/syJVCT9cThsMjK3LrYF5ZGr/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 28 set. 2025.

CZARNECKI, J. M. P. et al. A brief history of remote sensing of soybean. **Agronomy Journal**, v. 117, n. 1, 2025. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/agj2.70004>. Acesso em: 02 out. 2025.

DAVIDSON, C. et al. NDVI/NDRE prediction from standard RGB aerial imagery using deep learning. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 203, p. 107396, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2022.107396>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169922007049>. Acesso em: 18 nov. 2025.

EMBRAPA. **Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg)**. 2025. Disponível em: <http://www.satveg.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ECMWF. **Forecast charts and data**. 2025. Disponível em: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts>. Acesso em: 30 out. 2025.

ESA. **Sentinel-2 Colour vision for Copernicus**. 2025. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2. Acesso em: 02 out. 2025.

FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, dez. 2001. Disponível em: <http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap4.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

FARIAS, D. B. S. **Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento do déficit hídrico e fenologia da cultura da soja**. 2024. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2024. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/cce53f98-6d9c-49f1-bdb7-cce6945d03b9>. Acesso em: 29 set. 2025.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stage of soybean development**. Special Report 80, Ames: Iowa State University, 1977. 12 p. Disponível em: <https://dr.lib.iastate.edu/bitstreams/13bd0d8f-66ff-4d0e-a0e3-a70c2c47f6f3/download>. Acesso em 27 set. 2025.

FERREIRA, W. B. et al. COMPARAÇÃO DE TRÊS DIFERENTES SENSORES ESPECTRAIS NA PRODUÇÃO DE NDVI E NDRE PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Revista Ciência Agrícola**, v. 22, n. Número especial, 2024. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/18461>. Acesso em: 16 nov. 2025.

FRANÇA, J. F. et al. Previsão da Produção de Soja Utilizando Imagens de Satélite e Lógica Fuzzy. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 2, p. 232–238, 2021. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgskroton.com.br/article/view/8218>. Acesso em: 24 out. 2025.

GAMBA, F. B.; COLLICCHIO, E. Mapeamento de áreas de cultivo de soja em região do Cerrado brasileiro, nos estados do Tocantins e Bahia, a partir de imagens LANDSAT-8. **Desafios. Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins**. Palmas, v. 11, n. 7, p. 1-17, out. 2024. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/desafios/article/view/20588>. Acesso em: 30 out. 2025.

GAO, B. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 58, n. 3, p. 257-266, dez. 1996. Elsevier BV. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425796000673>. Acesso em: 07 out. 2025.

GARAGORRY, F. L.; MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L.A. **MATOPIBA: Quadro Agrícola**. Campinas: Embrapa, 2014. 87 p. (Embrapa, Nota técnica GITE, n. 7). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/139280/1/NT7-MatopibaQuadro-Agricola.pdf>. Acesso em: 25 set. 2025.

GEOGLAM. **Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring**. 2025. Disponível em: <https://geoglam.org/>. Acesso em: 27 out. 2025.

GEOGLAM Crop Monitor. **EO Data: NDVI & NDVI Anomalies**. 2025. Disponível em: <https://www.cropmonitor.org/eo-data>. Acesso em: 07 out 2025.

GUSSO, A. Integração de imagens NOAA/AVHRR: rede de cooperação para monitoramento nacional da safra de soja. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 194–204, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/FMF3nrVMdxNqrrgcXTHckCk/?lang=pt>. Acesso em: 30 set. 2025.

HUANG, S. et al. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 1–6, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-020-01155-1>. Acesso em: 17 nov. 2025.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 295-309, ago. 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/003442578890106X>. Acesso em: 06 out. 2025.

HUETE, A. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425702000962>. Acesso em: 05 out. 2025.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias: 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Geografia, 2017. 82 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=2100600>. Acesso em: 27 set. 2025.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA**. Levant. Sist. da Produção Agrícola - LSPA. 2025a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=conceitos-e-metodos>. Acesso em: 26 set. 2025.

IBGE. **PAM – Produção Agrícola Municipal**. 2025b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 29 out. 2025.

INEMA. **Precipitação Mensal do Estado da Bahia – Outubro de 2025**. 2025. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/inema/sites/site-inema/files/2025-11/10.%20Outubro%20de%202025.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

INMET. **Boletins Agroclimatológicos**. 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/boletins-agroclimatol%C3%B3gicos>. Acesso em: 27 out. 2025.

KARNIELI, A. et al. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. **Journal of Climate**, v. 23, n. 3, p. 618–633, 2010. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/23/3/2009jcli2900.1.xml>. Acesso em: 30 set. 2025.

KUMARI, S. et al. Introduction, History, Geographical Distribution, Importance, and Uses of Soybean (*Glycine max* L.). In: SINGH, K. P.; SINGH, N. K.; T, Aravind. **Soybean Production Technology**. Singapore: Springer, 2025. p. 1-17. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-8677-0_1#citeas. Acesso em: 27 set. 2025.

KUPLICH, T. M.; MOREIRA, A.; FONTANA, D. C.. Série temporal de índice de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1116–1123, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/vQ8skdpBK6CjdrnvymqZTh/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 30 out. 2025.

LEEuw, J. et al. The Potential and Uptake of Remote Sensing in Insurance: A Review. **Remote Sensing**, v. 6, n. 11, p. 10888–10912, 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/11/10888>. Acesso em: 18 nov. 2025.

LEIVAS, J.F. et al. MONITORAMENTO AGRÍCOLA BASEADO EM IMAGENS DE SATÉLITE DE DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS EM ÁREAS DO OESTE DA BAHIA. In: IV SIMPÓSIO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO, 4., 2022, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBHSF, 2022. p. 1-5. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149688/1/6077.pdf>. Acesso em: 30 out. 2025.

LIU, W. T.; KOGAN, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 6, p. 1161-1179, 2002. Disponível em: <https://www.tandfonline-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1080/01431160110076126>. Acesso em: 30 set. 2025.

LYKHOVYD, P. V.; SHARIL, V. O. Normalised difference moisture index in water stress assessment of maize crops. **Agrology**, v. 7, n. 1, p. 21–26, 2024. Disponível em: <https://agrologyjournal.com/index.php/agrology/article/view/138>. Acesso em: 17 nov. 2025.

MIRANDA, E. E.; MAGALHÃES, L. A.; CARVALHO, C. A. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Campinas: Embrapa. 2014. 18 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1037313/1/NT1DelimitacaoMatopiba.pdf>. Acesso em 28 set. 2025.

MISHRA, R. et al. Soybean (*Glycine max* L. Merrill): a multipurpose legume shaping our world. **Plant Cell Biotechnology And Molecular Biology**, Kannankurichi, v. 25, n. 3-4, p. 17-37, 2024. IK Press. Disponível em: <https://ikprress.org/index.php/PCBMB/article/view/8643>. Acesso em: 27 set. 2025.

NEUMAIER, N. et al. Ecofisiologia da soja. In: SEIXAS, C. D. S. et al. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 33-54. (Sistemas de Produção 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025.

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

OLIVEIRA, U. R.; ALVES, M. O.; FREITAS, A. N. G.. ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO ATRAVÉS DE IMAGENS ORBITAIS EM ESTUDO DO DESENVOLVIMENTO FENOLÓGICO NA CULTURA DA SOJA. In: ANAIS DO XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2025, Salvador. **Anais eletrônicos...**, Galoá, 2025. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2025/trabalhos/analise-da-dinamica-temporal-de-indices-de-vegetacao-atraves-de-imagens-orbitais?lang=pt-br>> Acesso em: 30 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2020- 2029**, Paris: OECD Publishing, 2020. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/52cd53a7-70a5-472d83da-610c1c971195/content>. Acesso em: 27 set. 2025.

PEREIRA, C. N.; PORCIONATO, G. L.; CASTRO, C. N. D. Aspectos socioeconômicos da região do MATOPIBA. **Boletim Regional. Urbano e Ambiental**, Brasília, 18, 47-59. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/0c82a7c9-be16-4baa-9054-2f30d093a782/content>. Acesso em 28 set. 2025.

PEREIRA, P. S. et al. Seasonal Analysis of Yield and Loss Factors in Bt Soybean Crops in North Brazil. **Sustainability**, v. 16, n. 3, p. 1036, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/3/1036>. Acesso em: 30 set. 2025.

PEREIRA, E. C. et al. COMPARAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DERIVADOS DO SENTINEL-2 PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE SOJA. In: ANAIS DO XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2025, Salvador. **Anais eletrônicos...**, Galoá, 2025. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2025/trabalhos/comparacao-de-indices-de-vegetacao-derivados-do-sentinel-2-para-estimativa-de-pr?lang=pt-br#>. Acesso em: 31 out. 2025.

PHIRI, D. et al. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 14, p. 2291, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/14/2291>. Acesso em: 02 out. 2025.

PINO, F. A. Estimação subjetiva de safras agrícolas. **Informações Econômicas**, São Paulo, p. 55-58, jun. 2001. Disponível em: <https://iea.agricultura.sp.gov.br/ftpiea/ie/2001/seto2-0601.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

PORCIONATO, G. L.; CASTRO, C. N. D.; PEREIRA, C. N. **Aspectos sociais do MATOPIBA: análise sobre o desenvolvimento humano e a vulnerabilidade social (Texto para Discussão)**. Brasília, DF: IPEA, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/entities/publication/c4bcedde-8382-46eb-a036-ddfd751214a6>. Acesso em: 29 set. 2025.

ROGGIA, S. et al. Manejo integrado de pragas. In: SEIXAS, C. D. S. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 197-226. (Sistemas de Produção 17). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring Vegetation Systemas in the Great Plains with ERTS. **Nasa Special Publication**, 351, 309, 1974. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2025.

SAMPAIO, M. I. R. et al. Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **Revista Brasileira de Geomática**, [s. l], v. 9, n. 4, p. 350-362, dez. 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo/article/view/14449>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto para o levantamento espectro-temporal e estimativa de área de culturas agrícolas**. 2004. 174 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2004/05.14.10.59/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

SANTOS, L. M. G. et al. RELAÇÃO ENTRE OS MAPAS DOS ÍNDICES VEGETATIVOS NDRE, NDVI E EVI COM UM MAPA DE ZONAS DE POTENCIAL PRODUTIVO PARA SOJA. In: LI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 51., 2022, Pelotas. **Anais [...]**. Pelotas: Conbea, 2022. p. 1-4. Disponível em: <https://conbea.org.br/anais/publicacoes/conbea-2022/anais-2022/geoma-tica-instrumentac-a-o-e-agricultura-de-precisa-o-giap/3471-relacao-entre-os-mapas-dos-indices-vegetativos-ndre-ndvi-e-evi-com-um-mapa-de-zonas-de-potencial-produto-ivo-para-soja/file>. Acesso em: 01 nov. 2025.

SCHWALBERT, R. A. et al. Satellite-based soybean yield forecast: integrating machine learning and weather data for improving crop yield prediction in southern brazil. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 284, p. 107886, abr. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192319305027?via%3Dihub>. Acesso em: 25 out. 2025.

SEI – Superintendência de estudos econômicos e sociais da Bahia. **Safras – Acomp. de safra baiana**. 2025. Disponível em: <https://www.ba.gov.br/sei/safras-acomp-de-safra-baiana>. Acesso em 24 out. 2025.

SEIXAS, C. D. S. et al. Manejo de doenças. In: SEIXAS, C. D. S.. **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 227-263. (Sistemas de Produção 17). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123928/1/SP-17-2020-online-1.pdf>. Acesso em: 27 set. 2025.

SEDIYAMA, T. **Melhoramento genético da soja**. Londrina: Editora Mecenaz, 2015.

SLAIFFER, H. et al. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E SUA CORRELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA EM ÁREA IRRIGADA E DE SEQUEIRO. **Nativa**, v. 13, n. 3, p. 495–502, 2025. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/18592>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SILVA, M. R. S.; AZEVEDO, M. A. B.; LUCIANO, A. C. S. Uso de imagens de satélite para estimativa de índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP, 32., 2024, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: USP, 2024. p. 1-2.

SOUZA, C. M. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>. Acesso em: 28 set. 2025.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, 2025 (*Circular Series WAP 02-25*). Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/PSDOnline/Circulars/2025/02/production.pdf>. Acesso em: 28 set. 2025.

TALOOR, A. K.; MANHAS, D. S.; KOTHYARI, G. C.. Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data. **Applied Computing And Geosciences**, [S.L.], v. 9, p. 1-11, mar. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590197420300331>. Acesso em: 17 nov. 2025.

TOOMER, O. T. et al. Current Agronomic Practices, Harvest & Post-Harvest Processing of Soybeans (Glycine max)—A Review. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 427, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/2/427>. Acesso em 28 set. 2025.

XIE, Y.; SHA, Z.; YU, M.. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. **Journal Of Plant Ecology**, v. 1, n. 1, p. 9–23, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/jpe/article/1/1/9/1132900>. Acesso em: 01 out. 2025.

XIE, Q. et al. Vegetation Indices Combining the Red and Red-Edge Spectral Information for Leaf Area Index Retrieval. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 11, n. 5, p. 1482–1493, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8328017/>. Acesso em: 16 nov, 2025.

ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; GRASSINI, P. Climate and Management Factors Influence Soybean Yield Potential in a Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 108, n. 4, p. 1447-1454, jul. 2016. Wiley. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2015.0535>. Acesso em: 30 set. 2025.