

# Ferramentas para monitoramento do vazio sanitário da soja por imagens multiespectrais orbitais

*Tools for monitoring soya sanitary void using multispectral orbital images*

Jean-Jacques Georges Soares de Groote<sup>1</sup>, Lucas Prado Osco<sup>2</sup>, Alessandro da Silva Oliveira<sup>3</sup>, Lucio André de Castro Jorge<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Professor, Centro Universitário Moura Lacerda, Ribeirão Preto (SP), Brasil, [lucasosco@unoeste.br](mailto:lucasosco@unoeste.br)

<sup>2</sup> Professor, Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente (SP), Brasil, [lucasosco@unoeste.br](mailto:lucasosco@unoeste.br)

<sup>3</sup> Fiscal Estadual Agropecuário, Agência de Defesa Sanitária da Bahia (ADAB), Salvador (BA), Brasil, [alessandro.oliveira1@adab.ba.gov.br](mailto:alessandro.oliveira1@adab.ba.gov.br)

<sup>4</sup> Pesquisador, Embrapa Instrumentação, São Carlos (SP), Brasil, [Lucio.jorge@embrapa.br](mailto:Lucio.jorge@embrapa.br)

## RESUMO

Dentre as atividades de monitoramento necessárias, a identificação de infringência do período conhecido como “vazio sanitário” é uma das que mais necessitam da integração com dados de sensoriamento remoto, bem como a ocorrência de pragas. O vazio sanitário é definido como um período anual em que os produtores agrícolas, cujos principais cultivos em suas áreas são baseados nas culturas de soja, não podem semear ou manter plantas de soja, seja em qualquer fase de seu ciclo fenológico, em sua propriedade. Essa ação tem por objetivo reduzir o inóculo de doenças, e, portanto, deve-se cumprir a prática com rigor. Todavia, o monitoramento por meio de inspeção a campo dessas propriedades é uma tarefa trabalhosa e dispendiosa. Como alternativa, o uso contínuo de imagens orbitais pode auxiliar os órgãos gestores a identificar, previamente, a infração, inclusive quantificando a área de vegetação cultivada nesses locais. Esse tipo de atividade auxilia o técnico em campo com relação a averiguação das infrações, permitindo rapidez ao processo e a tomada de decisão. Neste estudo, é apresentado um modelo de trabalho que, utilizando de tecnologias livres e de baixo custo computacional, monitore áreas agrícolas em nível local e regional, identificando a infração ou não adesão à prática de vazio sanitário e de ocorrência de pragas. Para isso foram utilizadas técnicas de processamento digital de imagem e comparado o método com modelos baseados em aprendizagem de máquina para a identificação de possíveis plantas dentro de áreas descampadas. Esse modelo utiliza uma abordagem de regressão múltipla sobre bandas multiespectrais de reflectância para caracterizar a proporção de vegetação versus vazio sanitário, com dados provenientes de talhões em diferentes estágios de desenvolvimento e áreas de vazio sanitário. Os espectros obtidos pelo Sentinel 2 demonstraram consistência com bandas de solo e vegetação verificadas em inspeções locais. O modelo de trabalho proposto consiste em uma abordagem automatizada, em que retorna com alta acurácia a segmentação de áreas cultivadas que descumpram a prática de vazio. Espera-se que as informações apresentadas auxiliem estudos futuros com a construção e proposição de metodologias úteis para o monitoramento agrícola, dentro das práticas de agricultura de precisão e que adotem a abordagem de baixo custo computacional e pouco supervisionada.

**Palavras-chave:** processamento digital de imagem; Google Earth Engine; modelagem.

## ABSTRACT

Among the necessary monitoring activities, identifying violations of the period known as the ‘sanitary void’ is one those that most require the integration with remote sensing data, as well as the occurrence of pests. The sanitary void is defined as an annual period during which agricultural producers, whose main crops are soybean-based, cannot sow, or maintain soybean plants at any stage of their phenological cycle on their property. This action aims to reduce the inoculum of diseases and the practice must therefore be strictly adhered to. However, monitoring these properties through field inspections is a labour-intensive and expensive task. As an alternative, the continuous use of orbital images can help management bodies to preemptively identify violations, including quantifying the cultivated vegetation area in these locations. This type of activity assists field technicians to ascertain infractions, speeding up the process and decision-making. This study presents a working model that,

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000020>

 Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

using free and low-cost computational technologies, monitors agricultural areas at local and regional levels, identifying violations or non-adherence to the sanitary void practice and the occurrence of pests. For this, digital image processing techniques were used, and the method was compared with models based on machine learning to identify possible plants in cleared areas. This model uses a multiple regression approach on multispectral reflectance bands to characterize the proportion of vegetation versus sanitary void, with data from plots at different stages of development and fallow areas. The spectra obtained by Sentinel 2 showed consistency with soil and vegetation bands verified in local inspections. The proposed working model consists of an automated approach, which returns highly accurate segmentation of cultivated areas that do not comply with the fallow practice. It is hoped that the information presented will help future studies with the construction and proposal of useful methodologies for agricultural monitoring, within the practices of precision agriculture, thus adopting a low computational cost and unsupervised approach.

**Keywords:** digital image processing; Google Earth Engine; modelling.

## 1 INTRODUÇÃO

O vazio sanitário para uma cultura é um período contínuo onde produtores não devem semear nem manter plantas vivas. Para a soja, é um período contínuo de 90 dias determinado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), publicado por meio de portarias específicas (Brasil, 2022). O objetivo deste período é reduzir a introdução de doenças, de modo a minimizar seus impactos negativos durante a safra seguinte, permitindo maior controle de riscos associados à proliferação de doenças.

A implantação efetiva dos períodos de vazio sanitário depende da gestão adequada por parte das fazendas, sendo que sua adequação é verificada por órgãos específicos. Esse monitoramento envolve vastas regiões de lavouras, o que pode ser realizado de forma efetiva por meio de imagens orbitais. Satélites coletam dados multiespectrais do visível ao infravermelho próximo, possibilitando análises realizadas com softwares que identificam traços de vegetação em meio a diferentes tipos de solo (Jensen, 2014). Para a detecção do vazio sanitário, plataformas como o Earth Engine da empresa Google (Earth Engine, 2022a) possibilitam o desenvolvimento de métodos numéricos e sua aplicação em tempo útil para análise e monitoramento, tanto pelos gestores quanto pelos inspetores.

O Earth Engine tem como destaque o fornecimento de um catálogo de imagens de satélites e dados geoespaciais de escala planetária, e um ambiente de desenvolvimento de aplicações baseadas em sistemas de servidores em processamento paralelo de alto desempenho. Essa plataforma permite a integração de dados remotos de diversas plataformas orbitais, sendo dentre elas as imagens obtidas por meio dos sensores MSI, embarcados nos satélites Sentinel 2A e 2B (Earth Engine, 2022b). Recentemente, diversos estudos com as bandas espectrais registradas por esse sensor vêm sendo desenvolvidos para fins de agricultura de precisão, evidenciando a importância da tecnologia

no setor (Weiss et al., 2020; Choudhary et al., 2022; Ni et al., 2021; Liu et al., 2020; Wuyun et al., 2022).

Este trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa em que foram desenvolvidos processos para identificar o vazio sanitário em lavouras georreferenciadas. A classificação foi baseada nos dados da constelação de satélites Sentinel 2 (Sentinel 2, 2022) da Comunidade Europeia e Agência Espacial Europeia (European Space Agency, 2022). Com imagens obtidas de forma aberta e resolução entre 10 e 20 m, dados do espectro de reflectância foram obtidos em períodos quinzenais em talhões georreferenciados de acordo com dados do oeste da Bahia. A pesquisa envolveu tanto o desenvolvimento da metodologia quanto a aplicação das soluções para a detecção do vazio sanitário.

O método adotado envolve técnicas de correlações múltiplas com base nas bandas multiespectrais do visível ao infravermelho, cobrindo a faixa de 490 a 865 nm. Para a disponibilização dos resultados foram desenvolvidos aplicativos interativos para a web, abertos aos usuários com acesso a um link compartilhado. Por meio desse aplicativo é possível escolher talhões tabelados e inspecionar o cumprimento do vazio sanitário ao longo de uma linha temporal.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da técnica de detecção do vazio sanitário apresentada neste trabalho foram utilizados dados dos satélites Sentinel 2 e da plataforma de desenvolvimento online do Google Earth Engine. Nesta seção são detalhados esses sistemas, e o método de regressão utilizado para estabelecer uma forma de inferir se os dados de cada pixel das imagens orbitais representam o vazio sanitário, vegetação, ou uma combinação linear destes por meio do espectro de reflectância.

Administrado pela Comunidade Europeia e a Agência Espacial Europeia (ESA), os satélites Sentinel 2a e 2B

captam imagens multiespectrais da Terra, em alta resolução, em revisitas de cinco dias. As bandas dos sensores permitem dados do visível com 4 bandas, do infravermelho de ondas curtas, 6 bandas, e dados para correções atmosféricas com 3 bandas. As resoluções variam de 10 a 60 m (Tabela 1).

**Tabela 1.** Bandas e resolução do espectro de reflectância dos satélites Sentinel 2.

Banda	Descrição	Resolução (m)
B1	Aerosols	60
B2	Blue	10
B3	Green	10
B4	Red	10
B5	Red Edge 1	20
B6	Red Edge 2	20
B7	Red Edge 3	20
B8	NIR	10
B8A	Red Edge 4	20
B9	Water Vapor	60
B11	SWIR 1	20
B12	SWIR 2	20
AOT	Aerosol Optical Thickness	10
WVP	Water Vapor Pressure.	10
QA20	Always Empty	20
QA60	Cloud Mask	60

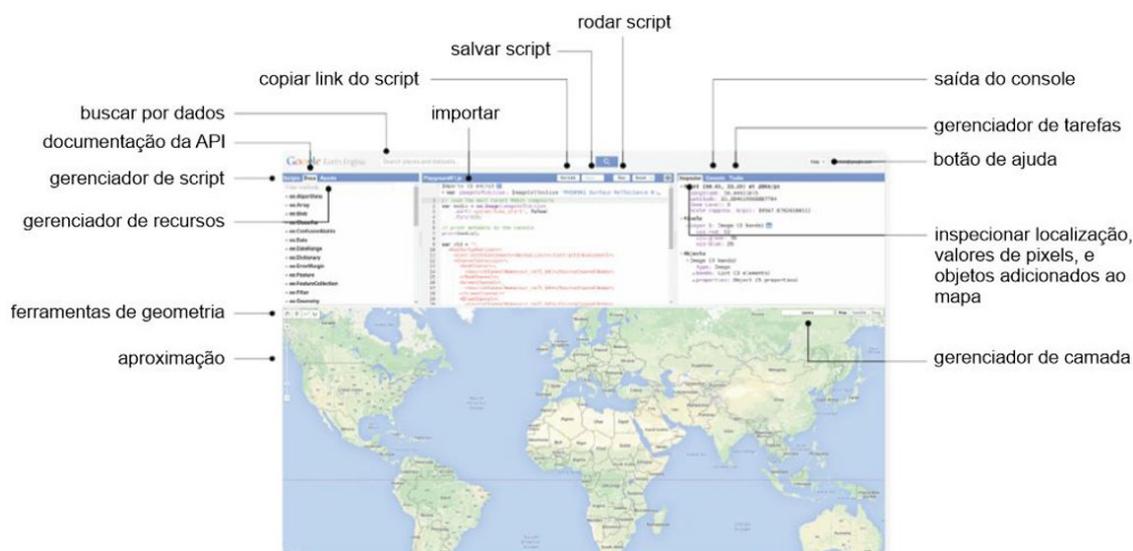
Fonte: Sentinel Online (2022).

O Earth Engine é uma plataforma online disponibilizada pela Google Cloud Infrastructure para pesquisas científicas com imagens da superfície terrestre (Figura 1). A plataforma é integrada a diversos satélites, incluindo os Sentinel 2, utilizados neste trabalho. O desenvolvimento de códigos para análise de imagens georreferenciadas é realizado em Javascript, com possibilidade de integração em outros sistemas por meio de uma API em Python. Para esta pesquisa, foram desenvolvidos códigos de análise na própria plataforma, e os resultados disponibilizados por meio de um provedor de aplicativos, onde apenas o link é requerido para acesso ao público interessado.

Para esta pesquisa, os dados de reflectância (0-1) fornecidos pelos satélites Sentinel 2 foram importados e disponibilizados em forma de tabela a partir de cada pixel das regiões georreferenciadas. A resolução em metros quadrados utilizados na pesquisa, relativo à banda, cobre o intervalo de bandas entre 490 e 865 nanômetros, variando de 10 a 20 m<sup>2</sup>.

Adjunta à plataforma GGE, outra plataforma integrada está sendo proposta para incorporar as informações processadas por meio do GGE e implementar uma interface mais customizável e de fácil acesso aos usuários que necessitem cadastrar novas propriedades. A fase inicial desse sistema é desenvolvida a partir de um banco de dados em PostgreSQL que contém o armazenamento dos dados cadastrais dos usuários e seus níveis de acesso e das propriedades existentes. Uma versão inicial da mesma também é apresentada neste trabalho e discutida.

Tendo como base a forma da distribuição do espectro, foi implementado um método de segmentação considerando que nos talhões o espectro é uma



**Figura 1.** Plataforma Earth Engine. Fonte: Earth Engine (2022c).

combinação linear de vegetação (Novo, 2010) e solo (Alvarenga et al., 2003) devido à ocupação do solo em diferentes proporções. Para determinar os coeficientes dessa combinação utilizou-se uma regressão linear de múltiplas variáveis (Loesch; Hoeltgebaum, 2017), implementada no Earth Engine, e na linguagem Python na plataforma Colab da Google, com a biblioteca GEE.

Na análise de regressão múltipla, um conjunto de variáveis independentes é utilizado para a previsão de uma única variável dependente. Cada preditor possui um peso que indica sua contribuição relativa à previsão total. A equação de regressão para a reflectância  $r$  pode ser escrita como função da vegetação e vazio, na forma:

$$r = a + b_1 r_{veg} + b_2 r_{vazio}$$

Para as variáveis dependentes representando a reflectância da vegetação  $r_{veg}$  e vazio sanitário  $r_{vazio}$  (solo), tem-se os coeficientes,

$$b_1 = \frac{\sum r_{vazio}^2 \sum (r_{veg} \cdot r) - \sum (r_{veg} r_{vazio}) \sum (r_{veg} r)}{\sum r_{veg}^2 \sum r_{vazio}^2 - (\sum r_{veg} r_{vazio})^2}$$

$$b_2 = \frac{\sum r_{veg}^2 \sum (r_{vazio} \cdot r) - \sum (r_{veg} r_{vazio}) \sum (r_{vazio} r)}{\sum r_{veg}^2 \sum r_{vazio}^2 - (\sum r_{veg} r_{vazio})^2}$$

Nestas expressões, para a reflectância observada, os valores de  $r_{veg}$  e  $r_{vazio}$  foram obtidos empiricamente, com valores medidos nos talhões fornecidos pelas fontes do projeto, como apresentado na Tabela 2.

Para a classificação de cada pixel da imagem do talhão, um limiar foi estabelecido como referência para determinar as classes {vazio sanitário, vegetação}, de acordo com a relação de proporção entre os coeficientes de cada classe.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espectro de reflectância obtido pelas câmeras dos satélites Sentinel 2 passam por um processo de calibragem antes de serem disponibilizadas. A calibração radiométrica converte o sinal elétrico medido pelo instrumento em radiância física medida no sensor. Para exemplificar a compatibilidade dos dados orbitais com medidas *in situ* por espectralradiômetros, na Figura 2 é apresentada a curva de reflectância da soja obtida a partir de experimentos realizados por Gürtler et al. (2018), comparados com os valores

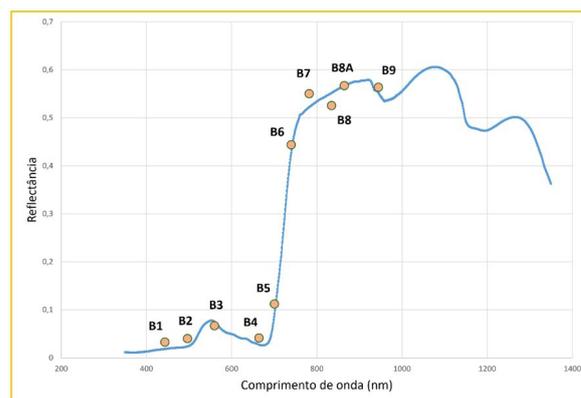


Figura 2. Curva do espectro de reflectância da soja saudável comparado com os pontos obtidos por valores médios das bandas (B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8a) do Sentinel 2 em amostras de talhões.

Tabela 2. Dados médios das bandas obtidos a partir de amostras em pivôs cadastradas.

Banda	nm	Descrição	Reflectância vegetação (0-1)	Reflectância solo (0-1)
B1	443	Violeta	0,024	0,076
B2	490	Azul	0,028	0,091
B3	560	Verde	0,120	0,051
B4	665	Vermelho	0,159	0,036
B5	705	Visível e IR Próximo	0,194	0,089
B6	740	Visível e IR Próximo	0,216	0,293
B7	783	Visível e IR Próximo	0,238	0,397
B8	842	Visível e IR Próximo	0,239	0,391
B8A	865	Visível e IR Próximo	0,265	0,429

médios por banda medidos com imagens do Sentinel 2 no Earth Engine (EE).

Por meio da correlação, foram determinados os pesos de espectro de solo e vegetação, gerando um índice a partir da proporção desses pesos. Com esse índice foi estabelecido um limiar a partir da análise especia-

lista de pesquisadores das instituições que definem o conceito de vazio. Este estudo foi realizado por meio de comparações de imagens registradas em campo, coordenadas com aquisições de dados dos satélites.

O código foi implementado na plataforma EE em Javascript, com o cálculo da correlação realizada pixel a pixel. Filtros foram definidos por meio de funções que associam os valores do conjunto de bandas B: {B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A} a um índice {0, 1}, onde 1 significa vazio sanitário. Para cada talhão georreferenciado, uma média do vazio é calculada e introduzida como componente para *charts* interativos com dados distribuídos em uma linha temporal predefinida. Por meio desses *charts*, uma curva de vazio sanitário pode ser explorada pelos gestores, fornecendo a proporção de área coberta por vegetação com relação ao vazio por meio de um índice que varia de 0 (cobertura vegetal completa) a 1 (vazio sanitário), como apresentado na Figura 3.



Figura 3. Evolução temporal do vazio sanitário para um talhão. O índice 0 indica cobertura vegetal em todo talhão, variando até 1, com vazio sanitário.

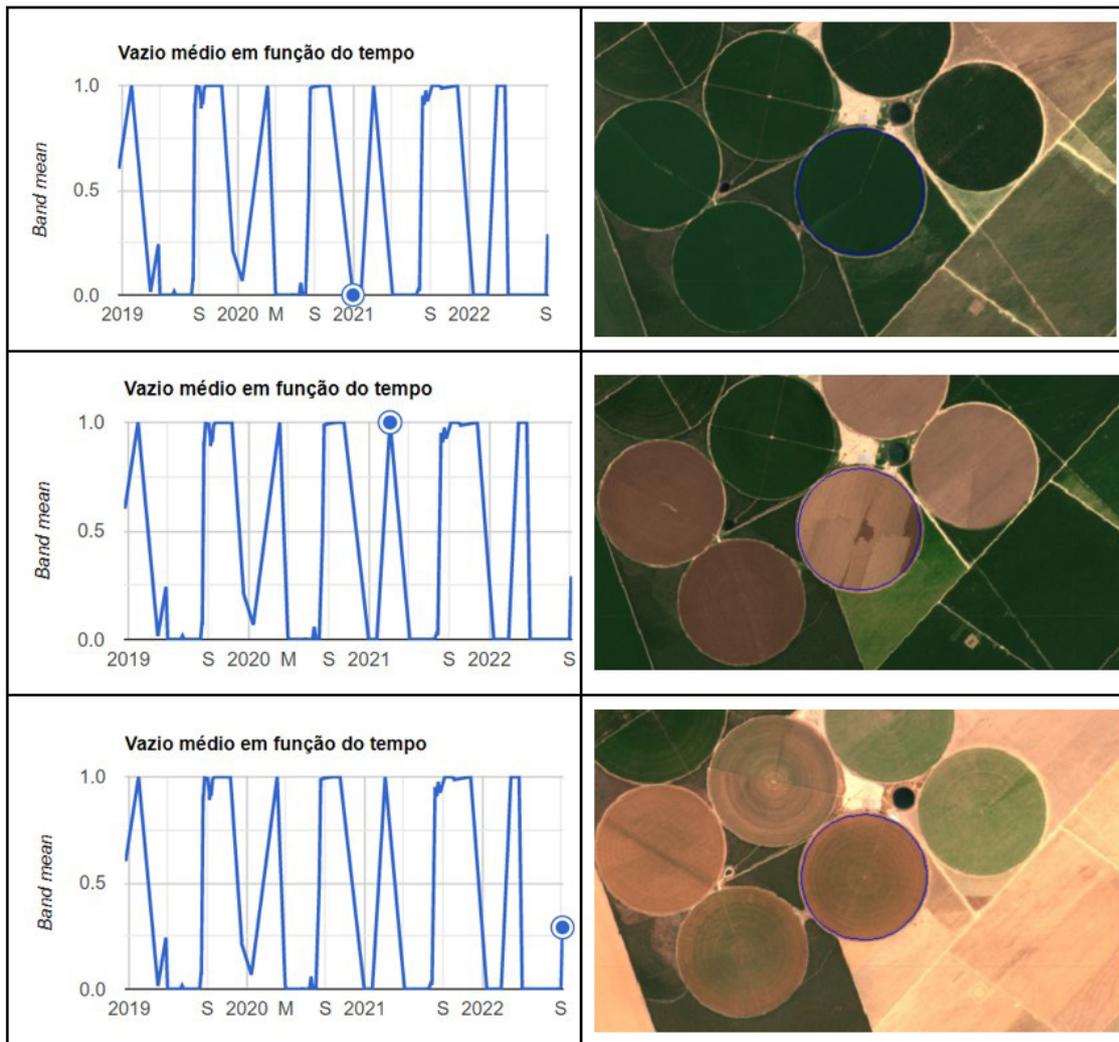


Figura 4. Exemplos dos resultados para indicação de vazio sanitário e cobertura vegetal para diferentes índices de vazio sanitário.

As imagens utilizadas para o *chart* são inicialmente filtradas para remover aquelas com cobertura de nuvem e cirrus. Desta forma, ao escolher uma imagem no *chart* por meio de uma seleção por clique, a imagem do período será disponibilizada, assim como a taxa de área com vazio sanitário identificado.

Os resultados para um talhão específico podem ser observados nos exemplos da Figura 4. Foram apresentados resultados para índice 0.00, 0.29 e 1.00, indicando variações de cobertura vegetal.

Para disponibilização dos resultados, foi desenvolvido um aplicativo do sistema Earth Engine (Figura 5). Esse aplicativo contém um painel para interface com o usuário, com processamento realizado em tempo real.

O aplicativo disponibiliza as seguintes funcionalidades:

- Os talhões cadastrados são obtidos por meio de um seletor, e um gráfico temporal é disponibilizado para este talhão.
- O gráfico mostra o histórico do índice de vazio calculado de acordo com o método de regressão.
- As imagens selecionadas foram escolhidas da coleção de imagens do Sentinel 2, a partir de um filtro de cobertura de nuvens, com limiar de cobertura de 5%.
- O *chart* é interativo, permitindo a escolha da data a ter as imagens apresentadas.
- As imagens são fornecidas no padrão RGB.

O sistema de monitoramento e alerta de vazio sanitário foi desenvolvido disponibilizando por meio de um banco de dados em PostgreSQL o armazenamento dos dados cadastrais dos usuários e seus níveis de

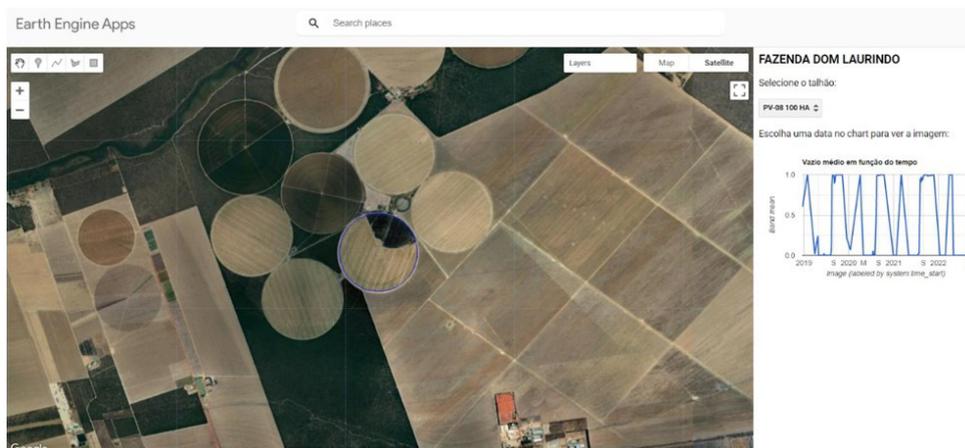


Figura 5. Aplicativo desenvolvido para acesso rápido à detecção de vazio sanitário.

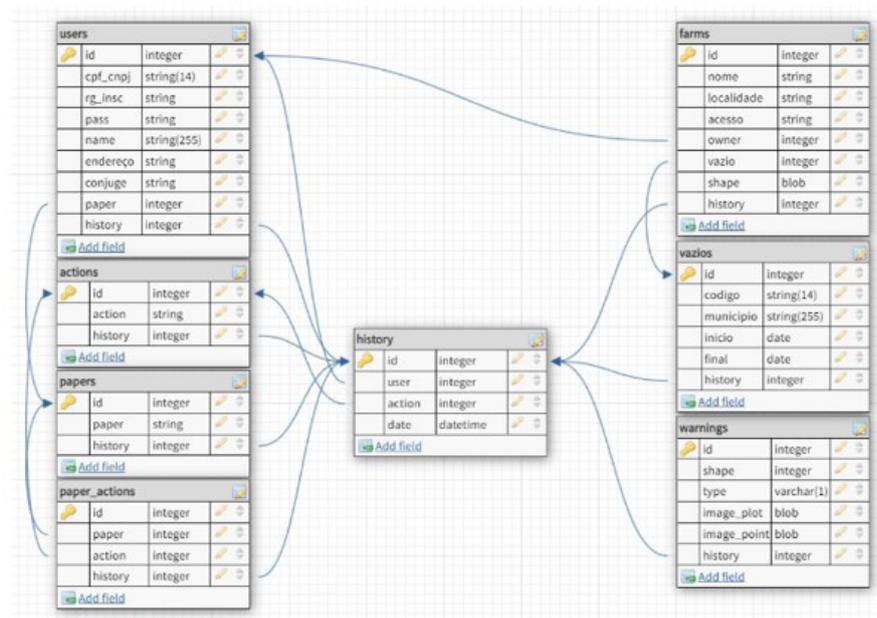


Figura 6. Modelo de dados implementado na plataforma de monitoramento online.



Figura 7. Plataforma desenvolvida para monitoramento do vazio sanitário da soja.

acesso, dados cadastrais das propriedades, dados dos municípios e suas datas de vazio sanitário, arquivos de dados geoespaciais em forma de vetor usado por sistemas de informações geográficas contemplando as delimitações das propriedades e municípios do estado e relatórios das detecções de cultivos (Figura 6).

Para acesso remoto, seja por sistemas, plataformas e aplicativos, foi desenvolvido um serviço de API REST com controle de acesso disponibilizado por tokens Bearer com expiração temporal em Django. A plataforma online, estará disponível na página da ADAB, Agência de Defesa Sanitária da Bahia, desenvolvida em Javascript utilizando React e Typescript e hospedado pela NEXT da Vercel, apresenta um painel de visualização com mapas, utilizando Leaflet, dos vazios sanitários municipais e suas detecções em cores, destacando as presenças de irregularidades facilitando uma depuração do fiscal ao realizar o monitoramento (Figura 7).

Neste painel podem ser filtrados cada município, assim como a data de detecção do algoritmo. Em cada município são exibidas as propriedades vinculadas e com a data da detecção selecionada, quais propriedades apresentam irregularidades. Ao selecionar cada propriedade é possível acessar a data e o tipo do cultivo detectado assim como a imagem recortada na data da detecção e o mesmo recorte processado pelo algoritmo, e também um relatório em PDF elaborado pelo algoritmo contendo os dados e justificativas estatísticas que ratificam a detecção.

#### 4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um processo eficaz e de baixo custo baseado em sensoriamento remoto, para auxiliar a identificação de infringência do período de vazio sanitário. Sua aplicação objetiva a redução do inóculo de doenças, auxiliando os órgãos competentes na gestão de vastas áreas de cultivo. A

plataforma Earth Engine se mostrou eficaz e de grande relevância para estudos para identificação de vazio sanitário. Entre os aspectos relevantes para este trabalho estão a velocidade de processamento para quantidades massivas de dados, integração com coleções de mapas e quantidade de informações pixel a pixel fornecidas em tempo relativamente curto.

Para caracterizar a proporção de vegetação/vazio sanitário, a regressão múltipla sobre bandas multiespectrais de reflectância foi implementada, considerando informações de talhões com vegetação em diferentes etapas de desenvolvimento e vazio sanitário. Como resultado, foi disponibilizada aos gestores uma forma de mensurar a proporção de vegetação nos talhões. O espectro obtido por meio do Sentinel 2 apresentou resultados consistentes com bandas de solo e vegetação verificadas em inspeções locais. Para acesso aos dados foi desenvolvido um aplicativo que permite a usuários finais acessar as informações processadas em tempo real, utilizando formatos de painéis com elementos interativos para disponibilização da evolução temporal por talhão, incluídos em páginas na web. Desta forma podem ser realizadas análises por gestores no manejo e controle das plantações a partir dos métodos implementados.

Outro dispositivo foi desenvolvido para acesso virtual, visando um sistema de alerta para controle de fiscalização e monitoramento, assim como a base de um sistema de notificação pela agência. Esse acesso é realizado por meio de uma plataforma com controle de acesso de usuários, cadastro de propriedades com informações geoespaciais delimitantes das áreas de cultivo, histórico datados pelos processamentos deste trabalho e seus relatórios estatísticos ratificando a detecção e compondo a notificação endossada pela confirmação in loco pelos agentes. Foi possível verificar que os processos e métodos adotados levaram a resultados acurados, que podem ser utilizados para indicar o correto manejo em fazendas

conforme as legislações locais para o vazão sanitário. O método pode ser explorado para análises que buscam diferenciar tipos de plantações e pode também ser aperfeiçoado com a utilização de imagens de satélites com maior resolução, precisão e menor tempo de entrega dos dados.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, B. S.; D'ARCO, E. N. Z. O.; ADAMI, M.; FORMAGGIO, A. R. *O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do estado de São Paulo*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: SBSR, 2003. p. 739-747.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA. Portaria SDA Nº 516. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 18, 01 fev. 2022.
- Choudhary, K.; SHI, W.; DONG, Y.; PARINGER, R. Random Forest for rice yield mapping and prediction using Sentinel-2 data with Google Earth Engine. **Advances in Space Research**, vol. 70, n. 8, p. 2443-2457, 2022.
- EARTH ENGINE. **Google Earth Engine**. 2022b. Disponível em: <https://earthengine.google.com/>. Acesso em: 27 set. 2022.
- EARTHENGINE. **Platform**. 2022a. Disponível em: <https://earthengine.google.com/platform/>. Acesso em: 19 set. 2022.
- EARTH ENGINE. Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-2<sup>a</sup>. 2022c. Disponível em: [https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS\\_S2\\_SR](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S2_SR). Acesso em: 28 set. 2022.
- EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel 2**. 2022. Disponível em: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2). Acesso em 27 set. 2022.
- Gürtler, S.; SOUZA FILHO, C. R.; SANCHES, I. D.; ALVES, M. N.; OLIVEIRA, W. J. Determination of changes in leaf and canopy spectra of plants grown in soils contaminated with petroleum hydrocarbons. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 146, p. 272-288, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.09.011>.
- Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 3. ed. New Delhi: Pearson Education India, 2014. 613 p.
- LIU, L.; XIAO, X.; QIN, Y.; WANG, J.; XU, X.; HU, Y.; QIAO, Z. Mapping cropping intensity in China using time series Landsat and Sentinel-2 images and Google Earth Engine. **Remote Sensing of Environment**, v. 239, p. 111624, 2020.
- Loesch, C.; Hoeltgebaum, M. **Métodos estatísticos multivariados**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2017.
- NI, R.; TIAN, J.; LI, X.; YIN, D.; LI, J.; GONG, H.; ZHANG, J.; ZHU, L.; WU, D. An enhanced pixel-based phenological feature for accurate paddy rice mapping with Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 178, p. 282-296, 2021.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- SENTINEL ONLINE. **S2 Applications**. 2022. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>. Acesso em: 28 set. 2022.
- WEISS, M.; JACOB, F.; DUVEILLER, G. Remote sensing for agricultural applications: a meta-review. **Remote Sensing of Environment**, v. 236, p. 111402, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402>.
- WUYUN, D.; SUN, L.; SUN, Z.; CHEN, Z.; HOU, A.; CRUSIOL, L. G. T.; REYMONDIN, L.; CHEN, R.; ZHAO, H. Mapping fallow fields using Sentinel-1 and Sentinel-2 archives over farming-pastoral ecotone of Northern China with Google Earth Engine. **GIScience & Remote Sensing**, v. 59, n. 1, p. 333-353, 2022.