

## DADOS MULTISENSOR NA CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL ESPECTRAL DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA EM ÁREA DE CERRADO

Édson Luis Bolfe <sup>1,2</sup>, Taya Cristo Parreiras <sup>2</sup>, Edson Eyji Sano <sup>3</sup>, Ieda Del'Arco Sanches <sup>4</sup>, Daniel de Castro Victoria <sup>1</sup>, Thaís Basso Amaral <sup>1</sup>, Denise Baptaglin Montagner <sup>5</sup>, Ademir Fontana <sup>6</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP, Brasil, edson.bolfe@embrapa, daniel.victoria@embrapa.br,

thais.amaral@embrapa.br; <sup>2</sup>Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, tayacristo1@gmail.com

<sup>3</sup>Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, Brasil, edson.sano@embrapa.br; <sup>4</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, ieda.sanches@inpe.br; <sup>5</sup>Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Brasil, denise.montagner@embrapa.br; <sup>6</sup>Embrapa Solos, Campo Grande, MS, Brasil, ademir.fontana@embrapa.br

### RESUMO

O bioma Cerrado possui importância estratégica para a segurança alimentar e a manutenção da biodiversidade brasileira. Novos sistemas de produção estão sendo implantados com foco no aumento da produtividade e sustentabilidade. Uma das alternativas têm sido os Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária (ILP). Alguns desafios para o mapeamento de ILP estão associados à dinâmica temporal e à diversidade dos arranjos produtivos das culturas anuais e das pastagens ao longo do ciclo produtivo. Assim, objetivou-se caracterizar o comportamento espectro-temporal de algumas áreas conduzidas com ILP em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, com base no índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) calculado a partir de dados multisensor harmonizados Landsat e Sentinel-2 (HLS) entre 2021 e 2022. Os resultados preliminares indicam que é possível diferenciar o perfil espectro-temporal de áreas com ILP em relação às áreas de pastagens e de culturas anuais.

**Palavras-chave** — Agricultura, Landsat, Sentinel, HLS.

### ABSTRACT

*The Cerrado biome is of strategic importance for food security and the maintenance of Brazilian biodiversity. New production systems are being used with focus on increasing productivity and sustainability. One of the alternatives has been the Crop-Livestock Integration System (ILP). Some challenges for mapping ILP areas are associated with temporal dynamics and the diversity of production arrangements of annual crops and pastures throughout the production cycle. Thus, the objective of this study was to characterize the spectro-temporal behavior of some areas conducted with ILP in Campo Grande, Mato Grosso do Sul, based on the normalized difference vegetation index (NDVI) calculated from harmonized multisensor Landsat and Sentinel-2 (HLS) data between 2021 and 2022. Preliminary results indicated that it is possible to differentiate the spectro-temporal profile of areas with ILP in relation to areas of annual crops and pastures.*

**Key words** — Agriculture, Landsat, Sentinel, HLS.

### 1. INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado abrange cerca de 200 milhões de ha (24% do Brasil) e está presente em 1.389 municípios dos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia, Rondônia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Distrito Federal. Contribui com cerca de 52% da produção brasileira de soja (*Glycine Max L.*), 54% do milho (*Zea mays L.*), 96% do algodão (*Gossypium sp.*), 51% da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*) e 35% do rebanho bovino. Responde ainda por parte significativa na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), café (*Coffea L.*), sorgo (*Sorghum bicolor L.*) e frutas tropicais [1].

Nos últimos anos, o setor agropecuário tem passado por transformações motivadas pelo aumento nos custos de produção, mudanças do clima e mercados mais competitivos, exigindo acréscimo de produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade. Para atingir tais objetivos, uma alternativa que tem se destacado é o uso de sistemas de integração que incorporam atividades de produção agrícola, pecuária e florestal, buscando efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema para a sustentabilidade da unidade de produção, contemplando sua adequação ambiental e a valorização do capital natural [2].

Estimativas da Rede ILPF [3] apontam que o Brasil possui cerca de 17,4 milhões de hectares com sistemas integrados em diferentes configurações, combinando dois ou três componentes em um sistema produtivo, como Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Lavoura-Pecuária (ILP), Lavoura-Floresta (ILF) ou Pecuária-Floresta (IPF). Na safra 2020/2021, os principais estados que utilizaram sistemas integrados foram Mato Grosso do Sul (3,1 milhões de ha), Mato Grosso e Rio Grande do Sul (2,2 milhões de ha cada), Minas Gerais (1,5 milhões de ha) e Goiás (1,4 milhões de ha).

As características diversificadas com combinações de culturas agrícolas, forrageiras e/ou florestais, manejadas por práticas de rotação, sucessão e consorciação em sistemas integrados de produção, constituem alvos complexos e é um desafio no mapeamento por sensoriamento remoto [4]. A abordagem multisensor a partir de dados *Harmonized Landsat Sentinel-2* (HLS) tem criado oportunidades inéditas para a observação e monitoramento mais preciso da dinâmica da superfície terrestre, proporcionando novos horizontes

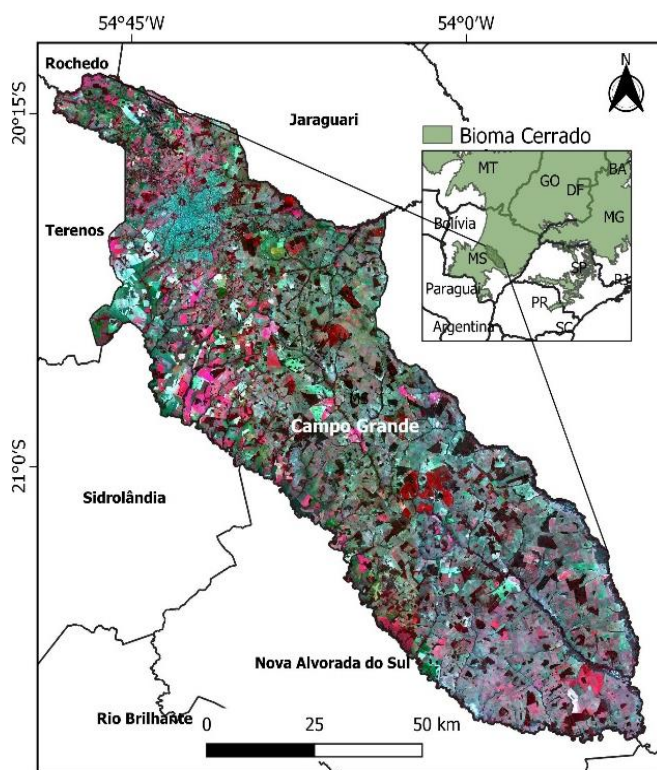
técnico-científicos [5, 6]. Estudos têm demonstrado o potencial do HLS para melhorar a discriminação de diferentes tipos de culturas agrícolas, analisar a fenologia de culturas e indicar níveis de intensificação na pecuária [7, 8, 9, 10, 11].

Assim, este estudo objetivou gerar uma análise exploratória para caracterizar o comportamento espectro-temporal de áreas conduzidas com ILP no município de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, a partir de dados HLS no ano safra 2021/2022.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de Estudo

O município de Campo Grande localiza-se na região central do Mato Grosso do Sul, entre as coordenadas geográficas 53° 36' / 54° 55' W e 20° 10' / 21° 35' S (Figura 1). Possui aproximadamente 916 mil habitantes e 8.082 km<sup>2</sup> de área territorial, da qual cerca de 61% é ocupada com pastagens, 10% com culturas agrícolas temporárias e 3% com silvicultura [12], sendo considerado um dos principais polos pecuários do Cerrado [1].



**Figura 1.** Localização do município de Campo Grande no estado de Mato Grosso do Sul e composição colorida RGB das bandas no infravermelho próximo, vermelho e verde da imagem Harmonizada Landsat Sentinel-2 (HLS) de 23 de agosto de 2022.

O clima, segundo a classificação de Köppen, situa-se na faixa de transição entre o sub-tipo Cfa – mesotérmico úmido sem estiagem e o Aw – tropical úmido, com estação chuvosa

no verão e seca no inverno. O município encontra-se inserido no Bioma Cerrado, havendo remanescentes de cerrado e cerrado tropical subcaducifólio, campo cerrado tropical, campo tropical, campo tropical higrófilo de várzea e campo higrófilo de surgente. As principais classes de solos encontradas são: Latossolo Vermelho, Vermelho-Amarelo e Amarelo; Neossolo Quazarênico; Cambissolo Háplico; Gleissolo Háplico e Melânico; Neossolo Litólico; Organossolo Háplico; e Planossolo Háplico [13].

### 2.2. Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária

Os sistemas ILP integram o componente agrícola e pecuário em rotação, consorciação ou sucessão, na mesma área e em um mesmo ano agrícola ou por vários anos, em sequência ou intercalados [2]. Os produtores têm buscado a renovação e a manutenção das pastagens com a adoção de sistemas de integração, onde a introdução de culturas agrícolas não é eventual, mas sim um componente estratégico de sistemas de produção de carne, leite, grãos e serviços ambientais que interagem e se complementam [2]. Foram levantados dados em campo em setembro de 2022 de quatro áreas com pastagens cultivadas (*Brachiaria* sp.) e presença de palhada de milho da safra anterior, doravante denominadas ILP 1, ILP 2, ILP 3 e ILP 4. Nenhuma das áreas apresentava sinais de degradação (presença de plantas invasoras, cupinzeiros ou solo exposto). Todas áreas possuíam pastagem com altura entre 30–60 cm e com pelo menos um indicativo de possível pastejo (animal, fezes ou cerca). Para uma breve análise comparativa do comportamento espectral das áreas de ILP, foram incluídos perfis espectrais de quatro áreas com pastagem (*Brachiaria* sp.) sem sinais de degradação, aqui definido como PAS, e quatro áreas com culturas temporárias (1ª e 2ª safras), definidas como AGR, e identificadas a partir da presença de palhada de milho em setembro de 2022 e/ou histórico do perfil espectral.

### 2.3. Dados de Satélite e Precipitação

As imagens harmonizadas do Sentinel-2 (HLS.S30) e do Landsat 8 (HLS.L30), reamostradas para 30 m e reprojetaadas sobre a grade de cenas do Sentinel-2, entre setembro de 2021 e agosto de 2022, com menos de 30% de cobertura de nuvens, foram adquiridas a partir do *Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC)*, por meio de uma rotina automatizada em ambiente R [14] e por meio do *Application for Extracting and Exploring Analysis Ready Samples* (<https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/>). Foram baixadas as bandas espectrais do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR), além da banda *F-mask*. Para datas coincidentes de dados HLS.L30 e HLS.S30, optou-se por manter este último. Os dados de precipitação entre agosto de 2020 e setembro de 2022 da estação automática de Campo Grande (A702) foram obtidos via Banco de Dados Meteorológicos (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponibilizados em mm hora<sup>-1</sup> e representados pelo acumulado quinzenal no período.

### 2.4. Processamento Digital e NDVI

As imagens HLS foram submetidas às seguintes etapas de processamento em ambiente R: i) recorte para área de interesse; ii) aplicação da *F-mask* para remoção de pixels contaminados por nuvens, sombras e água, no qual apenas o valor *integer* 64 foi mantido; iii) cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido pela diferença entre os valores de reflectância nas faixas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho, normalizados pela sua soma; iv) extração dos valores médios do NDVI para cada área amostral, em cada data, considerando-se uma região de interesse de 100 m × 100 m (12 *pixels*), em torno do ponto amostral, representando a área efetivamente avaliada em campo. Por fim, após extraídos, os valores de NDVI foram suavizados por meio do filtro espacial Savitzky-Golay (SG), com polinômio de 3ª ordem e janela 3 × 3.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a seleção de dados pelo limite de cobertura de nuvens, a remoção dos pixels contaminados por nuvens, sombras ou água, e a exclusão do dia 24/01/2022 por apresentar valores espúrios da classe AGR quando comparados aos dados MODIS e Landsat 8, o número de observações válidas do NDVI nas áreas e período analisado variou entre 14 e 53. A partir do uso dos dados HLS, foi possível obter pelo menos uma observação válida em cada mês e a série temporal de NDVI obtida foi capaz de descrever o comportamento espectro-temporal dos alvos de interesse. Potencial semelhante também foi identificado em outros estudos baseados em dados HLS aplicados na caracterização e mapeamento de usos agrícolas [11].

A aplicação do filtro SG permitiu suavizar as curvas do perfil gerado, facilitando a interpretação visual dos ciclos fenológicos. Na Figura 2, são exibidas fotografias tiradas das áreas analisadas entre 12 e 16 de setembro de 2022, além de uma composição falsa-cor gerada a partir de imagens HLS de 23 agosto de 2022, indicando os talhões de ILP analisados. Na Tabela 1, são apresentadas as estatísticas básicas do NDVI nas áreas amostrais no período estudado.

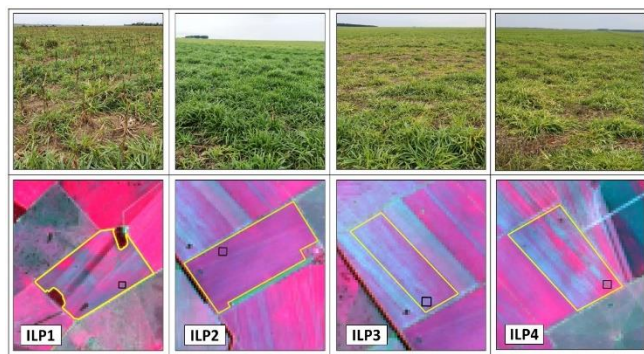


Figura 2. Fotografias panorâmicas obtidas em setembro de 2022 e composição colorida HLS falsa-cor de agosto de 2022 das quatro áreas de ILP consideradas neste estudo e localizadas no município de Campo Grande, MS.

Área	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	Desvio
ILP1	0,21	0,84	0,57	0,53	0,21
ILP2	0,20	0,92	0,62	0,57	0,23
ILP3	0,19	0,89	0,55	0,55	0,21
ILP4	0,26	0,88	0,52	0,54	0,17
PAS1	0,25	0,70	0,53	0,50	0,15
PAS2	0,29	0,71	0,50	0,51	0,13
PAS3	0,30	0,67	0,55	0,51	0,11
PAS4	0,36	0,63	0,52	0,50	0,07
AGR1	0,22	0,91	0,4	0,55	0,26
AGR2	0,17	0,92	0,56	0,55	0,29
AGR3	0,20	0,91	0,40	0,53	0,28
AGR4	0,18	0,93	0,46	0,54	0,26

Tabela 1. Estatística descritiva de NDVI de áreas com Integração Lavoura-Pecuária (ILP), Pastagem (PAS) e Culturas Anuais (AGR) no município de Campo Grande, MS.

A Figura 3 ilustra o perfil temporal gerado a partir do NDVI obtido para as quatro áreas com ILP, e o perfil médio das quatro áreas de pastagem e das quatro áreas de agricultura anual, juntamente com a precipitação acumulada (mm). O perfil da área de PAS apresentou curvatura alongada de NDVI, variando entre 0,25 a 0,71. Em contraste, o perfil das áreas com duas safras de AGR e com ILP foram caracterizadas por dois ciclos fenológicos bem acentuados, com NDVI variando entre 0,17 a 0,93 e 0,19 a 0,92, respectivamente.

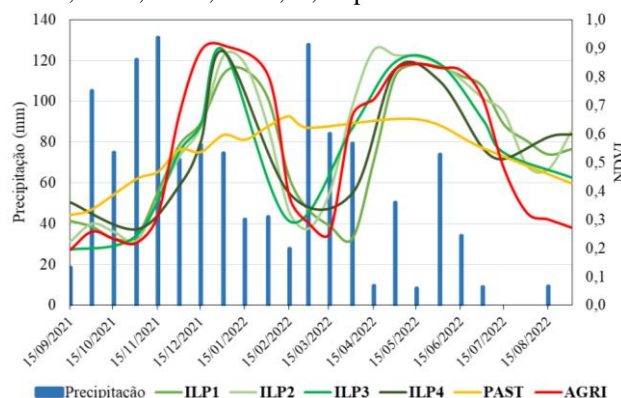


Figura 3. Perfil temporal do NDVI das áreas de ILP (individuais), PAS e AGR (médio), e precipitação acumulada (mm) no período de setembro de 2021 a setembro de 2022.

As áreas de PAS apresentaram um perfil característico de pastos cultivados no Cerrado ao longo do ano. Salienta-se a forte influência da precipitação, onde se observa que a variação da disponibilidade de biomassa está diretamente relacionada aos períodos de maior ou menor disponibilidade hídrica. A maior ou menor biomassa também é influenciada pelas condições do solo, associadas à lotação animal por hectare, data de entrada e de saída e tempo de permanência dos animais na área [4, 14]. O perfil espectro-temporal de AGR apresenta-se com dois ciclos nítidos de crescimento dentro do ano, onde é possível identificar a elevação rápida dos valores de NDVI a partir de outubro e o declínio acentuado a

partir de janeiro, associados ao plantio e colheita da 1ª safra (provavelmente soja). Da mesma forma, observa-se a elevação da curva a partir de março e seu declínio a partir de junho, com o plantio e colheita da 2ª safra, notadamente com milho. Essas são as características típicas dos perfis espectro-temporais de áreas com intensificação agrícola a partir de culturas temporárias de sequeiro com dois ciclos no cerrado com valores mínimos e máximos de NDVI no período de plantio e colheita, respectivamente [4, 16].

Já os perfis das áreas de ILP, de forma geral, apresentam semelhança espectro-temporal com a área agrícola durante as fases de desenvolvimento entre o plantio e colheita das culturas temporárias da 1ª e 2ª safra, com pico de NDVI entre janeiro/fevereiro e abril/maio, e diferenças sutis em função do período do plantio. No entanto, as duas séries diferem acentuadamente após a colheita da 2ª safra, onde, a partir de junho, observa-se um ciclo mais alongado e maiores valores de NDVI nas áreas com ILP em relação à área com AGR. Provavelmente esse comportamento está associado ao plantio integrado da pastagem com a cultura temporária [16], pois ao analisar as fotografias de ILP (Figura 2), observa-se que a pastagem permanece com biomassa verde em período posterior à colheita do milho. Segundo o MAPA [17], a pastagem semeada simultaneamente com o milho, apresenta um desenvolvimento lento até a colheita do milho, iniciando seu desenvolvimento mais acelerado a partir do aumento da radiação solar na estação seca e acesso das raízes ao adubo residual disponível no solo. Essa forma de integração é possível em função das diferenças, no tempo e no espaço, nos acúmulos de biomassa entre as espécies. A biomassa que é acumulada por essa forma de integração pode ser utilizada para alimentação bovina a partir do final do verão até o início da primavera e, posteriormente, para formação de palhada para o sistema de plantio direto, por exemplo, da soja, que se inicia geralmente em novembro, para uma nova safra de cultura anual.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise preliminar gerada a partir dos dados HLS permitiu diferenciar o perfil espectro-temporal de áreas conduzidas com sistemas de ILP em relação às áreas de pastagens e de culturas anuais. A abordagem multisensor pode contribuir na caracterização espectral de sistemas integrados e no aprimoramento metodológico de mapeamentos de uso da terra no Cerrado.

#### 5. AGRADECIMENTOS

A pesquisa tem apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - 2019/26222-6), do Conselho Nacional de Ciência e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

#### 6. REFERÊNCIAS

[1] IBGE. *Cidades – Campo Grande*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

- [2] L. Balbino, A. Barcellos, L. Stone, L. *Marco referencial em integração lavoura-pecuária-floresta*. Embrapa: Brasília, 130p., 2011.
- [3] Rede ILPF. *ILPF em números. 2021*. 14p. Disponível em: <https://redeilpf.org.br/ilpf-em-numeros/>. Acesso em: 29 set. 2022.
- [4] P. Kuchler, M. Simões, R. Ferraz, D. Arvor, P. A. Machado, M. Rosa, R. Gaetano, R. A. Bégué. Monitoring complex integrated crop–livestock systems at regional scale in Brazil. *Remote Sensing*, 14: 1648, 2022.
- [5] M. Claverie, J. Ju, J. Masek, J. Dungan, E. Vermote, J. Roger, S. Skakun, C. Justice. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. *Remote Sensing of Environment*, 219: 145, 2018.
- [6] NASA. *Release of Harmonized Landsat and Sentinel*. 2022. Disponível em: <https://hls.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 20 set. 2022.
- [7] P. Hao, H. Tang, J. Chen, M. Wu. High resolution crop intensity mapping using harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 data. *Journal of Integrative Agriculture*, 18: 2883, 2019.
- [8] T. Dong, J. Liu, B. Qian, B.; L. He, J. Liu, R. Wang, Q. Jing, C. Champagne, H. McNaim, J. Powers, Y. Shi, J. Chen, J. Shang. Estimating crop biomass using leaf area index derived from Landsat 8 and Sentinel-2 data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168: 236, 2020.
- [9] F. Gao, M. Anderson, C. Daughtry, A. Karnieli, D; Hively, W. Kustas. A within-season approach for detecting early growth stages in corn and soybean using high temporal and spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 242: 111752, 2020.
- [10] T. Parreiras, É. Bolfe, M. Chaves, I. Sanches, E. Sano, D. Victoria, G. Bettioli, L. Vicente. Hierarchical classification of soybean in the Brazilian savanna based on harmonized Landsat Sentinel data. *Remote Sensing*, 14: 3736, 2022.
- [11] Q. Zhou, J. Rover, J. Brown, B. Worstell, D. Howard, Z. Wu, A. Gallant, B. Rundquist, M. Burke. Monitoring landscape dynamics in central U.S. grasslands with Harmonized Landsat-8 and Sentinel-2 time series data. *Remote Sensing*, 11: 328, 2019.
- [12] Embrapa/Inpe. *GeoPortal-TerraClass-Cerrado*. 2018. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/geoportal-cerrado/>. Acesso em: 2 out. 2022.
- [13] P. Motta, N. Pereira, A. Carvalho Filho, A. Gonçalves, S. Bhering, W. Carvalho Jr., A. Amorim, J. Sotoya, C. Lemos, M. Aglio, J. Souza. *Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Município de Campo Grande, MS*. Embrapa: RJ, 2013. 183 p.
- [14] A. Bégué, D. Arvor, B. Bellon, J. Betbeder, D. Abelleira, R. Ferraz, V. Lebourgeois, C. Lelong, M. Simões, S. Verón. Remote sensing and cropping practices: a review. *Remote Sensing*, 10: 99, 2018.
- [15] LDAAC. *Getting started with cloud-native HLS data in R*. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/resources/e-learning/getting-started-with-cloud-native-harmonized-landsat-sentinel-2-hls-data-in-r/>. Acesso em: 01 out. 2022.
- [16] V. Manabe, M. Melo, J. Rocha. Framework for mapping integrated crop-livestock systems in Mato Grosso, Brazil. *Remote Sensing*, 10: 1322, 2018.
- [17] MAPA. ZARC. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/risco-seguro> Acesso em: 15 jul. 2022.