

ANÁLISE DA DINÂMICA DE CULTURAS AGRÍCOLAS TEMPORÁRIAS NO CERRADO

Adriane Calaboni¹, Victor Pedroso Curtarelli¹, Lídia Sanches Bertolo¹, João Luis Santos¹, João Francisco Gonçalves Antunes², Júlio Cesar Dalla Mora Esquerdo², Alexandre Camargo Coutinho², Glauber José Vaz²

¹Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH., Av. José Rocha Bonfim, 214 – Jardim Santa Genebra, Praça Capital – Ed. Frankfurt, Sala 126, CEP 13080-650 Campinas/SP - Brasil, {adriane.calaboni, victor.curtarelli, lidia.bertolo, joao.santos}@giz.de; ²Embrapa Agricultura Digital, Av. André Tosello, 209, Caixa Postal:6041, CEP 13083-886 Campinas/SP - Brasil, {joao.antunes, julio.esquerdo, alex.coutinho, glauber.vaz}@embrapa.br

RESUMO

O desenvolvimento de ferramental para mapeamento do uso e cobertura da terra (land use and land cover – LULC) converge para aprimorar protocolos de classificação e análise da dinâmica da agricultura, mediante o uso de modelos de inteligência artificial aplicados a imagens de satélite. Este trabalho avaliou a dinâmica de culturas agrícolas temporárias (CAT) no Bioma Cerrado, utilizando dados da Plataforma Digital TerraClass, ferramenta desenvolvida com a adoção de tecnologias como o projeto Brazil Data Cube e o pacote Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes (sits). Os resultados indicaram a predominância de processos associados à intensificação das práticas agrícolas no Cerrado, embora também tenham ficado evidentes indicativos da pressão de antropização, representados pela expansão agrícola sobre áreas de cobertura vegetal natural. O uso de um WebGIS proporcionou um trabalho padronizado e ágil, possibilitando a diferenciação de regiões com características específicas quanto às dinâmicas e transições entre classes.

Palavras-chave — *TerraClass, agricultura, LULC, séries temporais, inteligência artificial, sits.*

ABSTRACT

Tool development for mapping land use and land cover (LULC) converge to improve classification protocols and analysis of agricultural dynamics through artificial intelligence models based on satellite imagery. This work intends to evaluate the LULC dynamics of temporary agricultural classes in the Cerrado biome using the TerraClass Digital Platform, a tool developed using technologies such as the Brazilian Data Cube project and the sits package. The results indicate the predominance of processes related to the intensification of agricultural practices in the Cerrado biome. However, human pressure is evident in smaller proportions, represented by agricultural expansion over areas of natural vegetation. Support tools such as WebGIS provided standardized and agile work, enabling the analysis of regions

with specific characteristics in their classes transition dynamics.

Key words — *TerraClass, agriculture, LULC, time series, artificial intelligence, sits.*

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, segundo maior bioma brasileiro em extensão, ocupa mais de 2 milhões de km², correspondendo a aproximadamente 25% do território nacional. Considerada uma das regiões mais biodiversas do planeta [1] o Cerrado assume, também, importância estratégica para o desenvolvimento agrícola do Brasil [2]. Segundo os dados do PRODES-Cerrado 2023 (Monitoramento do Desmatamento no Cerrado Brasileiro por Satélite) [3] entre os anos de 2000 e 2023 houve uma supressão acumulada da vegetação nativa de aproximadamente 50% da área do Cerrado. O objetivo do Projeto TerraClass-Cerrado é mapear o uso e cobertura da terra em áreas identificadas e delimitadas pelo PRODES, classificando e qualificando as principais atividades antrópicas desenvolvidas no bioma. Identificar, delimitar, monitorar e analisar as áreas de culturas temporárias de um ciclo (CAT1) e temporárias de mais de um ciclo (CAT+), bem como suas dinâmicas temporal e espacial, são atividades estratégicas para apoiar a formulação e monitoramento de políticas públicas voltadas à prática sustentável da agricultura nacional.

A classificação automática de áreas de CAT utilizando imagens de satélite é um grande desafio, principalmente pela disponibilidade de dados corrigidos e estruturados para uso em modelagem estatística. Para atender essa demanda, os avanços metodológicos indicam o potencial para adoção de técnicas baseadas em inteligência artificial, aplicadas a séries temporais de imagens de satélite estruturadas na forma de cubos de imagens. Para isso, o pacote de código aberto, desenvolvido em linguagem R, sits [4], e o projeto Brazil Data Cube (BDC) [5] foram adotados como ferramentas e repositório de dados públicos imprescindíveis para o alcance dos resultados previstos pelo TerraClass-Cerrado. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo identificar, quantificar,

analisar e caracterizar a dinâmica das CAT1 e CAT+ no bioma Cerrado entre os anos 2018 e 2022.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Classificação

Os mapeamentos utilizados neste trabalho são públicos e estão disponíveis na Plataforma Digital TerraClass [6] (<https://www.terraclass.gov.br>). Os dados de classificação LULC foram produzidos e aprimorados ao longo do tempo seguindo os avanços tecnológicos em sensoriamento remoto (SR) e técnicas de armazenamento e processamento de imagens. A classificação gerada pelo TerraClass-Cerrado para os anos de 2018 e 2020 contou com modelos *Random Forest* (RF) treinados sobre cubos de imagens MODIS [4, 5], sendo seus resultados vetorizados e editados sobre imagens Landsat-8. Já para o ano de 2022 a classificação foi conduzida usando amostras coletadas com base no mapa final de 2020 [7], analisadas e tratadas com o algoritmo SOM (*Self Organizing Map*). O cubo de imagens Sentinel-2 disponibilizado pelo BDC foi usado para classificação utilizando um modelo *Temporal Convolutional Neural Network* (TempCNN), e os resultados foram vetorizados e editados por uma equipe de intérpretes. O tratamento das amostras, a geração de modelos e a classificação foram realizados no sítio [4, 7].

2.2. Dinâmica

O estudo das dinâmicas da CAT1 e da CAT+ no bioma Cerrado (2018 a 2022) foi realizado por meio do mapa interativo da Plataforma Digital TerraClass. Além da análise para o bioma, foram identificadas e comparadas duas regiões com dinâmicas agrícolas distintas, sendo uma com agricultura consolidada, incorporando os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e outra em expansão e intensificação agrícola composta por Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (Figura 1). Os dados do mapeamento TerraClass 2018 e 2022 foram analisados em gráficos de setores (Figura 2), gráficos de evolução das classes (Figura 3), matrizes de transição (Figura 4) e diagramas de Sankey, todos gerados pelas ferramentas de análise disponibilizadas no ambiente do mapa interativo da Plataforma TerraClass. Para análises complementares, os dados dos mapeamentos foram baixados em formatos vetorial e matricial no recorte estadual para 2018 e 2022.

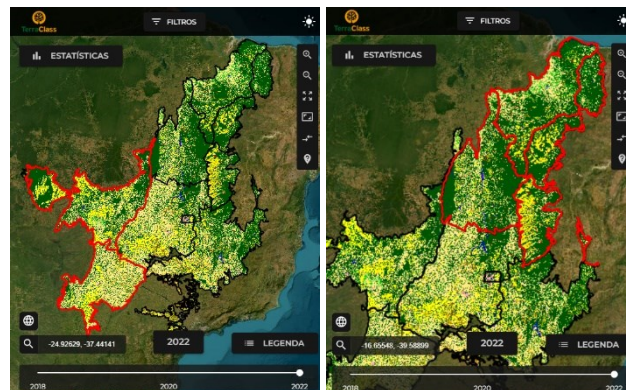


Figura 1. Regiões definidas na Plataforma Digital TerraClass para comparação da dinâmica das Culturas Agrícolas Temporárias. Região MS/MT à esquerda e MA/TO/PI/BA à direita.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dinâmica da Cultura Agrícola Temporária no Cerrado

A partir da análise, foi possível identificar que cerca de 48,3% do bioma Cerrado (960 mil km²) ainda são ocupados por Vegetação Natural Primária - VP, 3,9% (77 mil km²) por Vegetação Natural Secundária - VS, 30,0% (596 mil km²) por Pastagens - PA e 15,9% (315 mil km²) por algum tipo de cultura agrícola (Culturas Agrícolas Temporárias - CAT, Semiperene - CAS, Perene - CAP e Silvicultura - SI) (Figura 2).

As áreas antropizadas, ou seja, aquelas que foram identificadas como desflorestadas em algum momento pelo PRODES, compreendem aproximadamente 1 milhão de km². Desse total, aproximadamente 7,6% da região é coberta por VS, 59,0% por PA, enquanto CAT representa 31,3% da área remanescente. As CAT1 e CAT+ somam 23,7% (239 mil km²) das áreas antropizadas do Cerrado. Dentre as CAT, a CAT+ é predominante com 72,5%, frente aos 27,5% CAT1.

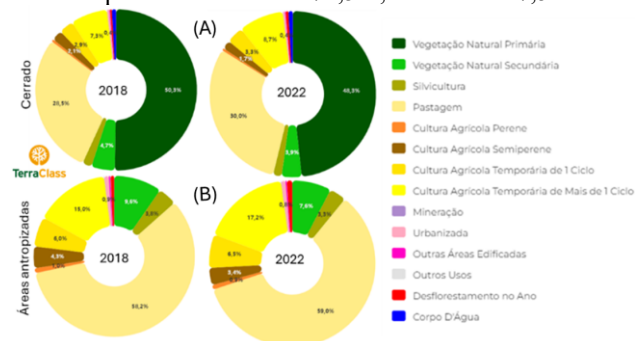


Figura 2. Gráficos de setores apresentando as porcentagens de área ocupada pelas classes de uso e cobertura da terra no Bioma Cerrado (A) e nas áreas antropizadas do bioma (B) para os anos 2018 e 2022.

Juntas, de 2018 a 2022 essas classes apresentaram um crescimento de 17%. A CAT1 aumentou sua área em 13% (7,5 mil km²) enquanto a CAT+ cresceu 19% (28 mil km²).

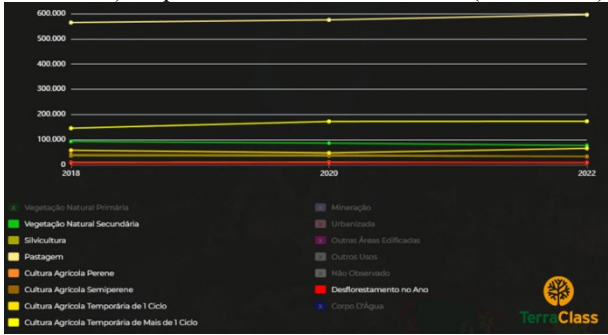


Figura 3. Evolução das principais classes que participam da dinâmica das CAT no bioma Cerrado.

A figura 4 auxilia na interpretação das dinâmicas ao longo do tempo e possibilita destacar, por exemplo, que dos 173 mil km² de CAT+, 118 mil km² (68%) já eram CAT+ em 2018 enquanto cerca de 55 mil km² (32%) são áreas de expansão sobre outros usos. Em geral houve uma intensificação da agricultura com 47% das áreas de expansão de CAT+ sobre áreas de CAT1 (26 mil km²), mas também ocorreu 40% de conversão de PA (22 mil km²) e 6,5% (3,5 mil km²) de CAS. Apesar de quase 95% da expansão de CAT+ estar associada às classes agropecuárias, 1,5% dessas expansões (800 km²) substituíram VS e mais 2% (1,2 mil km²) VP.



Figura 4. Matriz de transição entre os anos 2018 e 2022 para o Bioma Cerrado.

Dos 65,6 mil km² classificados como CAT1 em 2022, apenas 38% (25 mil km²) pertenciam a essa mesma classe em 2018, enquanto 62% (41 mil km²) representaram áreas de expansão sobre outros usos. Dessas áreas, 46% (18,5 mil km²) eram PA, 31% (12,6 mil km²) eram CAT+ e cerca de 12% (5 mil km²) eram CAS. Apesar da expansão de CAT1 sobre áreas de pecuária representar aproximadamente 90%, 2,5% (1 mil km²) são oriundos da substituição de VS, 5,6% de VP (2,2 mil km²) e 1,5% sobre áreas de Desflorestamento no Ano (600 km²).

3.2. Comparação da dinâmica da Cultura Agrícola Temporária (CAT) entre MT/MS e MA/TO/PI/BA

As CAT somam 27% (89 mil km²) das áreas antropizadas da região MS/MT, e 25% (61 mil km²) para a região MA/TO/PI/BA. Apesar da pouca diferença em termos de

área, a distribuição CAT1 e CAT+ é bem distinta entre elas. De sua área total, MS/MT apresentou, em 2022, 86% de CAT+ e 14% de CAT1, enquanto MA/TO/PI/BA apresentou 53% de CAT+ e 47% de CAT1 (Tabela 1). Entre 2018 e 2022, MA/TO/PI/BA passou por um considerável processo de intensificação em comparação à MS/MT. Em 2022, 51,3% (16.712 km²) da área de CAT+, da região MA/TO/PI/BA, era ocupada por CAT1 em 2018. Em contrapartida, apenas 4,8% (3.697 km²) da área de CAT+, em MS/MT, resulta da conversão de CAT1 nesse mesmo período. Essa é uma dinâmica esperada, visto que MS/MT é uma região já consolidada. Contudo, cerca de 40% (4.908 km²) das áreas de CAT1 em 2022 na região MS/MT, eram áreas de CAT+ em 2018. Esse padrão de transição é incomum em áreas consolidadas e em processo avançado de intensificação e, portanto, é possível que seja resultado de alterações climáticas que prejudicaram o plantio da segunda safra. A expansão de CAT entre 2018 e 2022 também variou entre as regiões. Em MS/MT, 36,6% (4.442 km²) das áreas de CAT1 e 10,8% (8.287 km²) das áreas de CAT+, em 2022, resultam da expansão destes cultivos sobre áreas de PA, e somente 1,2% e 0,2% sobre áreas de VP. Já na região MA/TO/PI/BA, a expansão de CAT1 e CAT+ ocorreu principalmente sobre PA (15,4% e 11,2%) e sobre VP (6,4% e 2,6% do total de CAT1 e CAT+ em 2022, respectivamente). Logo, 2.685 km² de VP foram desmatados para implantação de CAT entre 2018 e 2022. É importante ressaltar, também, que na região MA/TO/PI/BA, 20.357 km² (14,4%) de VS e 12.017km² (8,5%) de VP, foram convertidos em PA entre 2018 e 2022. No mesmo período, para MS/MT, 12.472km² (6,2%) de VS e 3.369 km² (1,7%) de VP, também foram substituídos por PA. Estas pastagens serão possivelmente substituídas por CAT nos próximos anos, como é usual ocorrer durante o processo de expansão agrícola no Brasil.

	MT/MS		MA/TO/PI/BA		MT/MS		MA/TO/PI/BA	
	CAT1	CAT+	CAT1	CAT+	CAT1	CAT+	CAT1	CAT+
Vegetação Natural Primária (VP)	139,7	172,0	1.852,1	833,2	1,2%	0,2%	6,4%	2,6%
Vegetação Natural Secundária (VS)	97,6	328,9	795,3	295,7	0,8%	0,4%	2,8%	0,9%
Silvicultura (SI)	24,8	45,9	58,1	12,3	0,2%	0,1%	0,2%	0,0%
Pastagem (PA)	4.442,1	8.287,1	4.428,4	3.657,2	36,6%	10,8%	15,4%	11,2%
Cultura Agrícola Perene (CAP)	4,9	3,5	24,9	42,8	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%
Cultura Agrícola Semi-perene (CAS)	623,6	1.192,7	182,7	74,4	5,1%	1,8%	0,8%	0,2%
Cultura Agrícola Temporária de 1 Ciclo (CAT1)	1.843,3	3.697,0	18.590,3	16.712,4	15,2%	4,8%	64,7%	51,3%
Cultura Agrícola Temporária de Mais de 1 Ciclo (CAT+)	4.908,5	62.780,7	2.262,2	10.462,8	40,5%	81,7%	7,9%	32,1%
Mineração (MI)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Urbanizada (UB)	0,3	8,1	0,8	0,3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Outras Áreas Edificadas (OE)	2,9	222,7	0,6	1,8	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%
Outros Usos (OU)	1,8	2,6	80,1	125,4	0,0%	0,0%	0,3%	0,4%
Não Observado (NO)	-	-	-	-	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Desflorestamento no Ano (DA)	38,8	66,2	498,3	373,9	0,3%	0,1%	1,7%	1,1%
Corpo D'Água (CA)	-	-	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Total CAT 2022	12.128,2	76.807,4	28.753,9	32.592,4	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Total CAT 2022 (%)	14%	88%	47%	53%				

Tabela 1. Matriz de transição entre os anos 2018 e 2022 para as CAT, nas duas regiões selecionadas.

4. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de tecnologias e ferramentas para suporte de análises do uso e cobertura da terra é de extrema importância no que diz respeito à celeridade das análises e interpretação de dados geoespaciais. A expansão das CAT, especialmente das CAT+, indica uma intensificação das

práticas agrícolas, predominantemente sobre áreas já alteradas, como pastagens e cultivos anteriores. A análise segregada das regiões MS/MT e MA/TO/PI/BA revelou diferenças significativas em suas dinâmicas de conversão e transições entre 2018 e 2022. Enquanto a região MS/MT apresentou uma estrutura mais consolidada e uma menor taxa de conversão de áreas de CAT1 para CAT+, a MA/TO/PI/BA experimentou uma intensificação acentuada e um padrão de expansão que envolveu também a conversão de áreas de VP, VS, além de PA.

A conversão de áreas de VP e VS em CAT ocorreu em menor quantidade, no entanto, ressalta-se que extensas áreas de VS e VP foram convertidas em PA em ambas as regiões e serão possivelmente substituídas por CAT no futuro. Esse padrão de transição, ainda muito comum no país, evidencia o desafio crescente para a conservação da biodiversidade e a sustentabilidade ambiental no Cerrado.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao FIP Paisagens Rurais pelo financiamento do projeto TerraClass, bem como ao projeto Brazil Data Cube (BDC - <http://brazildatacube.org/>) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e aos desenvolvedores do pacote sits (*Satellite Image Time Series Analysis for Earth Observation Data Cubes*), por todo o apoio e suporte recebidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- [1] R. A. Mittermeier, W. R. Turner, F. W. Larsen, T. M. Brooks, and C. Gascon. Global biodiversity conservation: the critical role of hotspots. In: F. E. Zachos, J. C. Habel. *Biodiversity hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*. Springer: Berlin, 2011, p. 3-22
- [2] C. C. Mueller, G. B. Martha Jr. Agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico recente no Cerrado. In: F. G. Faleiro, A. L. F. Neto (Ed.). *Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008, p.104-169
- [3] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Coordenação de Observação da Terra. PRODES – Nota técnica: A área de vegetação nativa suprimida no bioma Cerrado no ano de 2023 foi de 11.011,70 km². Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/a-area-de-vegetacao-nativa-suprimida-no-bioma-cerrado-no-ano-de-2023-foi-de-11-011-70-km2>
- [4] R. Simões, G. Camara, G. Queiroz, F. Souza, F., P. Andrade, P., L. Santos, A. Carvalho, and K. Ferreira. Satellite Image Time Series Analysis for Big Earth Observation Data. *Remote Sensing*, 13: 2428, 2021. doi:10.3390/rs13132428.
- [5] K. R. Ferreira, G. R. Queiroz, L. Vinhas, R. F. B. Marujo, R. E. O. Simoes, M. C. A. Picoli, G. Camara, R. Cartaxo, V. C. F. Gomes,

L. A. Santos, A. H. Sanchez, J. S. Arcanjo, J. G. Fronza, C. A. Noronha, R. W. Costa, M. C. Zaglia, F. Zioti, T. S. Korting, A. R. Soares, M. E. D. Chaves, and L. M. G. Fonseca. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, 12: 4033, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12244033>

[6] C. A. Almeida, A. C. Coutinho, J. C. D. M. Esquerdo, M. Adami, A. Venturieri, C. G. Diniz, N. Dessay, L. Durieux, and A. R. Gomes. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, 46: 291–302, 2016.

[7] L. S. Bertolo, A. Calaboni, J. F. G. Antunes, J. C. D. M. Esquerdo, A. C. Coutinho. Seleção de amostras e parametrização de modelo para classificação de áreas agrícolas no cerrado usando cubo de dados Sentinel-2. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, 2023, p. 922-925.