

Análise espaço - temporal do uso e cobertura da terra na expansão da agricultura de cana-de-açúcar no município de Aldeias Altas, Maranhão, Brasil

Space-time analysis of land use and cover in the expansion of sugarcane agriculture in the municipality of Aldeias Altas, Maranhão, Brazil

Análisis espacio-temporal del uso y cobertura del suelo en la expansión de la agricultura de caña de azúcar en el municipio de Aldeias Altas, Maranhão, Brasil

Recebido: 08/01/2024 | Revisado: 23/01/2024 | Aceitado: 25/01/2024 | Publicado: 29/01/2024

Steven de Alcantara Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4541-8788>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: catce.2022111egfa0007@aluno.ifpi.edu.br

Valdira de Caldas Brito Vieira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1067-0628>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Brasil

E-mail: valdirabrito@ifpi.edu.br

Resumo

O presente estudo tem como objetivo quantificar, espacializar e analisar o uso e ocupação da terra no Município de Aldeias Altas, no Estado Maranhão, especificamente nos anos de 2000, 2010 e 2021, numa pesquisa utilizando o método de Análise Evolutiva da Paisagem. Foram utilizadas imagens do Projeto MapBiomias, coleção 7.1, para a análise da cobertura e uso da terra, tais como áreas de agricultura, Floresta natural, Formação natural não florestal, corpos d'água, áreas não vegetadas e cana-de-açúcar. Também, foram utilizados dados secundários disponibilizados pela Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), como as variáveis produção e cultivo da cana-de-açúcar. Verificou-se a consolidação da modernização produtiva da terra e as mudanças nas paisagens derivadas da agricultura no município de Aldeias Altas, nos últimos 21 anos, com destaque para a produção da cana-de-açúcar. Além disso, comprovou-se a agilidade e precisão das geotecnologias na captura automática de dados relacionados com a superfície terrestre para o gerenciamento, o estudo e a apresentação das informações geradas, podendo ser de grande proveito para as políticas de desenvolvimento rural e para o crescimento do agronegócio de forma sustentável.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Processamento digital de imagens; Mapbiomas.

Abstract

The present study aims to quantify, spatialize and analyze the use and occupation of land in the Municipality of Aldeias Altas, in the State of Maranhão, specifically in the years 2000, 2010 and 2021, in a research using the Evolutionary Landscape Analysis method. Images from the MapBiomias Project, collection 7.1, were used to analyze land cover and use, such as agricultural areas, natural forests, non-forest natural formations, bodies of water, non-vegetated areas and sugar cane. Secondary data made available by the Municipal Agricultural Survey (PAM) were also used, such as the variables production and cultivation of sugar cane. There was a consolidation of the productive modernization of land and changes in the landscapes derived from agriculture in the municipality of Aldeias Altas, in the last 21 years, with emphasis on the production of sugar cane. Furthermore, the agility and precision of geotechnologies in the automatic capture of data related to the earth's surface for the management, study and presentation of generated information has been proven, which can be of great benefit for rural development policies and growth of agribusiness in a sustainable way.

Keywords: Sugarcane; Digital image processing; MapBiomias.

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo cuantificar, espacializar y analizar el uso y ocupación del suelo en el Municipio de Aldeias Altas, en el Estado de Maranhão, específicamente en los años 2000, 2010 y 2021, en una investigación utilizando el método de Análisis Evolutivo del Paisaje. Se utilizaron imágenes del Proyecto MapBiomias, colección 7.1, para analizar la cobertura y uso del suelo, como áreas agrícolas, bosques naturales, formaciones naturales no forestales, cuerpos de agua, áreas sin vegetación y caña de azúcar. También se utilizaron datos secundarios puestos a disposición de la Encuesta Agropecuaria Municipal (PAM), como las variables producción y cultivo de caña de azúcar. Hubo una consolidación de la modernización productiva de la tierra y cambios en los paisajes derivados de la agricultura en el municipio de Aldeias Altas, en los últimos 21 años, con énfasis en la producción de caña de azúcar. Además, se comprobó la agilidad y precisión de las geotecnologías en la

captura automática de dados relacionados com a superfície terrestre para la gestión, estudio y presentación de la información generada, lo que puede ser de gran utilidad para las políticas de desarrollo rural y el crecimiento de la agroindustria de manera sostenible.

Palabras clave: Cana de açúcar; Procesamiento digital de imágenes; Mapbiomas.

1. Introdução

O aumento da produção de grãos e da cana-de-açúcar no estado do Maranhão, especialmente na região de Cerrado e nas faixas de transição, representa um fenômeno relevante para a análise da dinâmica de uso da terra no sentido de amparar políticas públicas e ações para o setor produtivo em escala local. Em 1998, existiam 76 municípios produtores de cana-de-açúcar e, até o ano de 2018, dos 217 municípios maranhenses, a atividade produtiva da cana-de-açúcar já estava estabelecida em 80 deles. Observou-se uma crescente produção da cana, em pelo menos 60 municípios, sendo 112,12% nas áreas de cultivo e 117,74% na quantidade produzida, entre 1998 e 2018, conforme a pesquisa Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023).

É importante salientar que a cana-de-açúcar é uma commodity agrícola tradicional no estado do Maranhão, pois está presente desde os primórdios da colonização do país no século XVI (Cuenca & Mandarino, 2007), estando efetivo em uma grande quantidade de municípios.

Alencar et al. (2020) destaca que a acelerada exploração dos recursos naturais no bioma Cerrado deve-se à intensificação agrícola na última fronteira agrícola do Brasil, o MATOPIBA, região composta majoritariamente por áreas de cerrado pertencentes aos estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Nesse sentido, os autores identificaram redução acentuada das savanas, afetando diretamente a riqueza em biodiversidade existente nessa vegetação.

Os estudos sobre mudanças no uso e cobertura da terra também consistem na detecção da degradação ambiental ao longo do tempo (Costa et al., 2018). Tais estudos são capazes de demonstrar a realidade ambiental dos municípios, bem como a interferência da ação antrópica sobre o ambiente natural.

À vista disso, no estado do Maranhão, constata-se uma escassez de literatura sobre cobertura e uso da terra em pesquisas com enfoque ambiental. Contudo foram localizados alguns estudos como exemplos que detalham essa perspectiva.

Silva et al. (2019) averiguaram o desmatamento e suas causas em 170 municípios pertencentes à Amazônia Legal no Maranhão. Os autores identificaram a quantidade de áreas desmatadas por municípios entre os anos de 2002 e 2017. O estudo constata um crescimento significativo da agropecuária, com o aumento do número de bovinos e áreas utilizadas para agricultura.

Costa et al. (2011) compararam a distribuição espacial da cobertura vegetal e a evolução do uso agrícola no município de Chapadinha, que se localiza na mesorregião leste do estado do Maranhão. O estudo expôs redução de vegetação nativa para avanço de áreas agrícolas além da competição pelo uso da terra.

Conjuntamente no leste maranhense, especialmente nos municípios de Chapadinha e Buriti, a expansão agrícola de monoculturas cultivadas em larga escala tem ocasionado a perda de vegetação natural do bioma Cerrado, implicando diretamente na redução da biodiversidade nas áreas suprimidas (Araújo et al., 2019).

Para o mapeamento dessas mudanças, tem sido comum o uso de imagens de séries temporais de satélites para representar grandes áreas. Conforme Santos et al. (2021), um dos grandes desafios desse processo consiste na identificação de amostras que representem de forma adequada a variabilidade na cobertura e uso da terra para a produção de mapas com precisão. Um exemplo de base de dados disponibilizada atualmente é o projeto MapBiomas, que gera classificações de uso e ocupação do solo para o território brasileiro conforme Fortunato et al. (2019). Esses dados permitem criar matrizes, mosaicos de uso e cobertura do solo, possibilitando a análise temporal por município.

O objetivo desta análise é quantificar e espacializar a ocupação e o uso da terra no município de Aldeias Altas, especificamente nos anos de 2000, 2010 e 2021, utilizando mapas de cobertura e uso do solo, dados estatísticos e mosaicos da coleção 7.1 do MapBiomas para cada período e os dados levantados no Sistema de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Ibge, 2020).

A análise temporal de cada dez anos a partir de 2000, deve-se a instalação da TG AgroIndustrial Ltda. (Itapecuru Bioenergia) uma agroindústria do seguimento bioenergético, com foco na produção de etanol anidro e hidratado, localizada no Município de Aldeias Altas – MA, tendo suas atividades operacionais da Companhia iniciada em 2003.

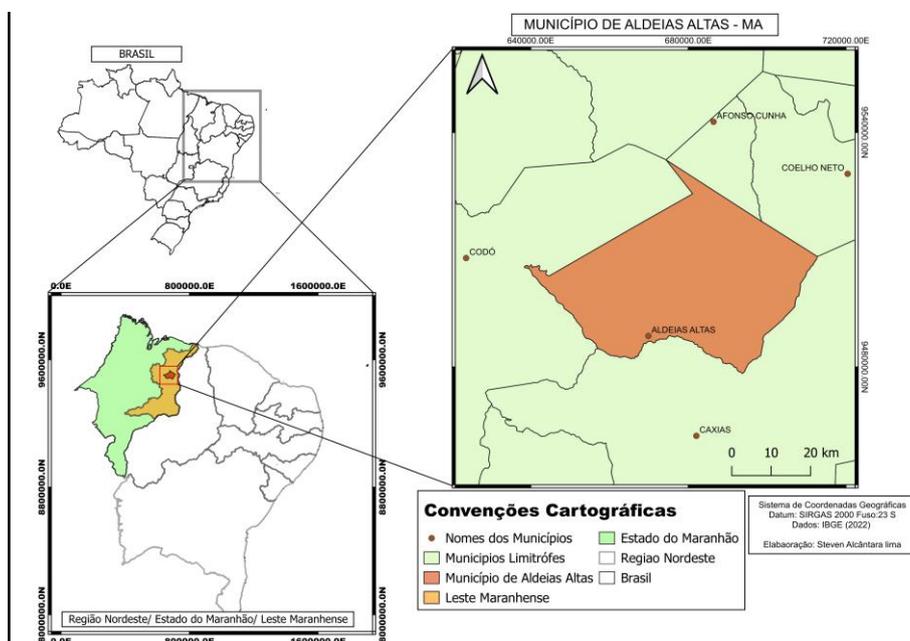
Assim, levando em consideração a sua relevância econômica e devido ao avanço intensivo da cultura ao longo das últimas décadas principalmente com a finalidade de abastecimento de usinas de produção de etanol, buscou-se com este artigo relacionar as modificações nas áreas ocupadas com vegetação nativa, considerando-se as características dos biomas nos quais estão inseridos, que incluem Cerrado e as faixas de transições, com o crescimento econômico em função do setor bioenergético.

2. Metodologia

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O município de Aldeias Altas se localiza ao leste do estado do Maranhão com área territorial de 1.942,121 km² e 26.979 habitantes, com densidade demográfica de 13,7 habitantes por km² no território do município (Ibge, 2022). Têm como municípios limítrofes Codó, Caxias, Coelho Neto e Afonso Cunha. O município de Aldeias Altas tem as seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 4° 37' 14" Sul, Longitude: 43° 27' 49" Oeste (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização espacial do Município de Aldeias Altas /MA.



Fonte: Lima (2023).

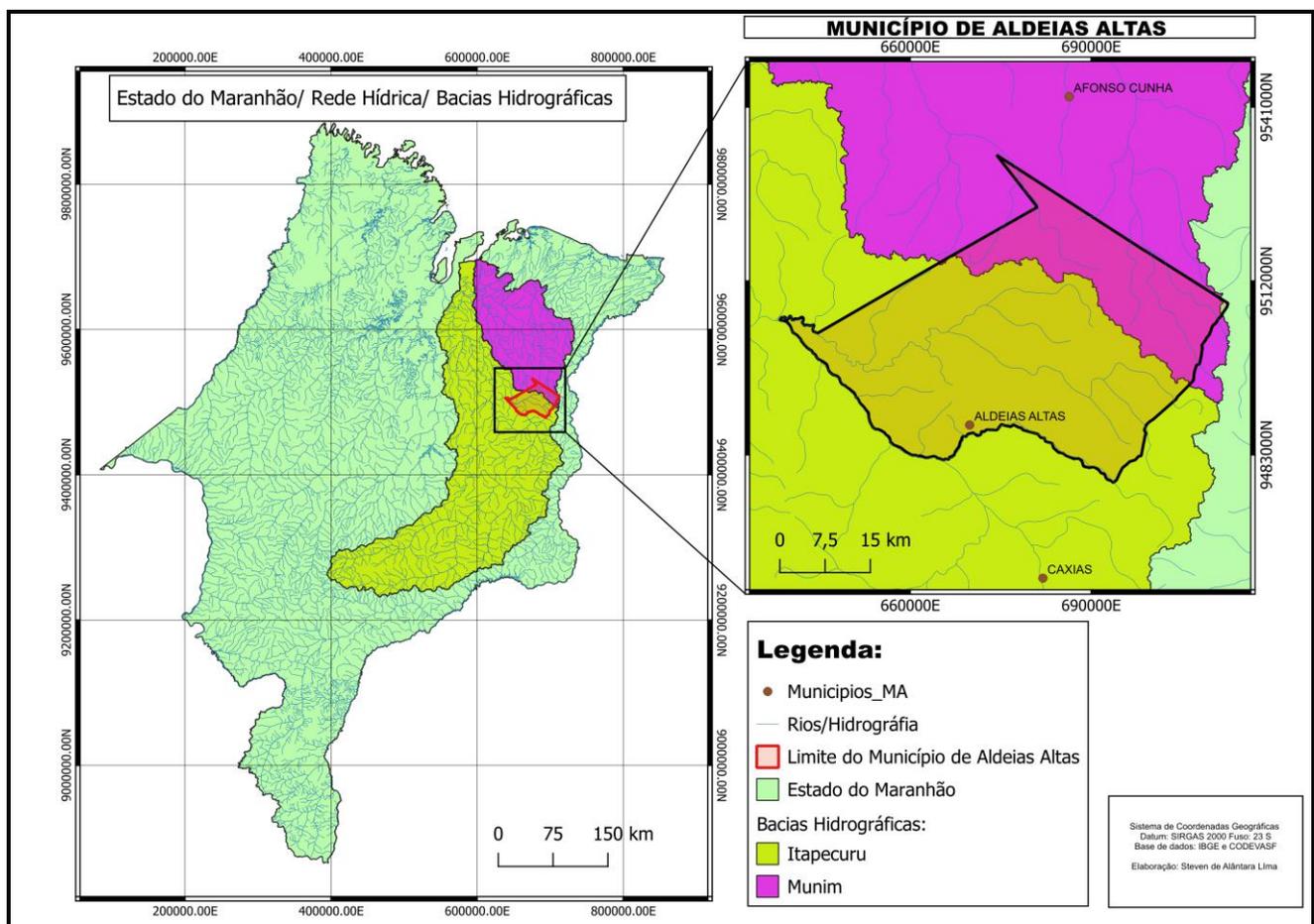
De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município é tropical, com inverno seco (Aw). Apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco). A temperatura média do mês mais frio é superior a 20°C. As precipitações são superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm (Embrapa - Climas, 2023a).

Conforme o último Censo Agropecuário de 2017, o município de Aldeias Altas possui 56.892 hectares de área de estabelecimentos agropecuários, dos quais 9.293 são destinados às lavouras (permanente e temporárias), 3.048 hectares distribuídos para pastagens, 8.208 hectares destinadas a matas ou florestas de preservação permanente ou reserva legal e 32.718 a Área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio por animais (Censo Agropecuário, 2017). Os biomas presentes no município são o Cerrado, que ocupa 95% da área e restante é de mata de transição (mata de cocais) (Mapbiomas, 2023a).

Os solos predominantes na região do município são do tipo Neossolos Quartzarênicos Orticos (RQo32), Latossolos Amarelos Distróficos (LAd32) e Plintossolos Haplicos Distróficos (FXd11) (Embrapa – Solos, 2023b).

O município possui vasta rede de drenagem, fazendo parte de duas grandes bacias hidrográficas, a bacia hidrográfica do rio Itapecuru que predomina toda a região sul, norte, oeste e sudeste do município, e a bacia hidrográfica do rio Munim que pega boa parte da região norte e nordeste do município (Codevasf, 2023), conforme Figura 2.

Figura 2 - Mapa das bacias hidrográficas do Município de Aldeias Altas /MA.



Fonte: Lima (2023).

2.2 Procedimentos metodológicos

Para a realização da pesquisa, foi necessário a realização de um levantamento bibliográfico e cartográfico. Procedendo-se de análises quali-quantitativas foram investigados trabalhos científicos e técnicos com objetivo de apreender elementos atinentes à área de estudo, bem como uma base teórico para o alcance do objetivo do trabalho.

Procedeu-se uma investigação descritiva que, segundo Santos (2012), trata-se de uma pesquisa mediante a qual se busca relatar, interpretar e avaliar a complexidade de uma realidade, seus processos e fenômenos.

Destaca-se esta investigação no método de Análise Evolutiva da Paisagem, descrito por Rodriguez, Silva & Cavalcanti (2013). Por conseguinte, intenciona-se nesse artigo, efetuar uma análise espaço-temporal da paisagem, sendo, portanto, um método de elucidação das tendências históricas do desenvolvimento da Natureza. Diante disso, concede a determinar as etapas dinâmico-evolutivas ou sucessivas das paisagens, bem como as interações antrópicas.

Primeiramente, foi acessada a base de dados da Produção Agrícola Municipal (PAM), (Ibge/Pam, 2023), para a obtenção da produção das principais culturas temporárias, (cana-de-açúcar).

Os dados para a análise da cobertura e uso da terra foram obtidos por meio da plataforma do programa MapBiomas coleção 7.1, integrada com o *Google Earth Engine* (GEE). A partir dessa base, foi possível utilizar outra informação fornecida pelo projeto, o de transições de uso do solo. Para esta análise, utilizou-se o mapa espaço - temporal do uso e cobertura do solo de 2000, 2010 e 2021.

Posto isso, por meio do *software* livre *QGIS 3.30.3*, efetuou-se uma reclassificação, agrupando as classes com aspectos semelhantes em um grupo geral, além de sobrelevar a classe referente à cana-de-açúcar, objetivando uma análise mais otimizada para o estudo. A Tabela 1 apresenta as classes originais da coleção 7.1 do projeto e as novas classes pós-reclassificação.

Tabela 1 – Reclassificação da cobertura do solo.

Classes originais agrupadas	Reclassificação
Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Restinga Arborizada	Floresta natural
Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Outras Formações não Florestais	Formação natural não florestal
Pastagem, Agricultura, Silvicultura, Mosaico de Agricultura e Pastagem (excetuando cana-de-açúcar)	Agropecuária
Urbanização, Praia, Duna e Areal, Mineração, Outras Áreas não Vegetadas	Área não vegetada
Rio, Lago e Oceano, Aquicultura Cana-de-açúcar	Água Cana-de-açúcar

Fonte: Autores (2023).

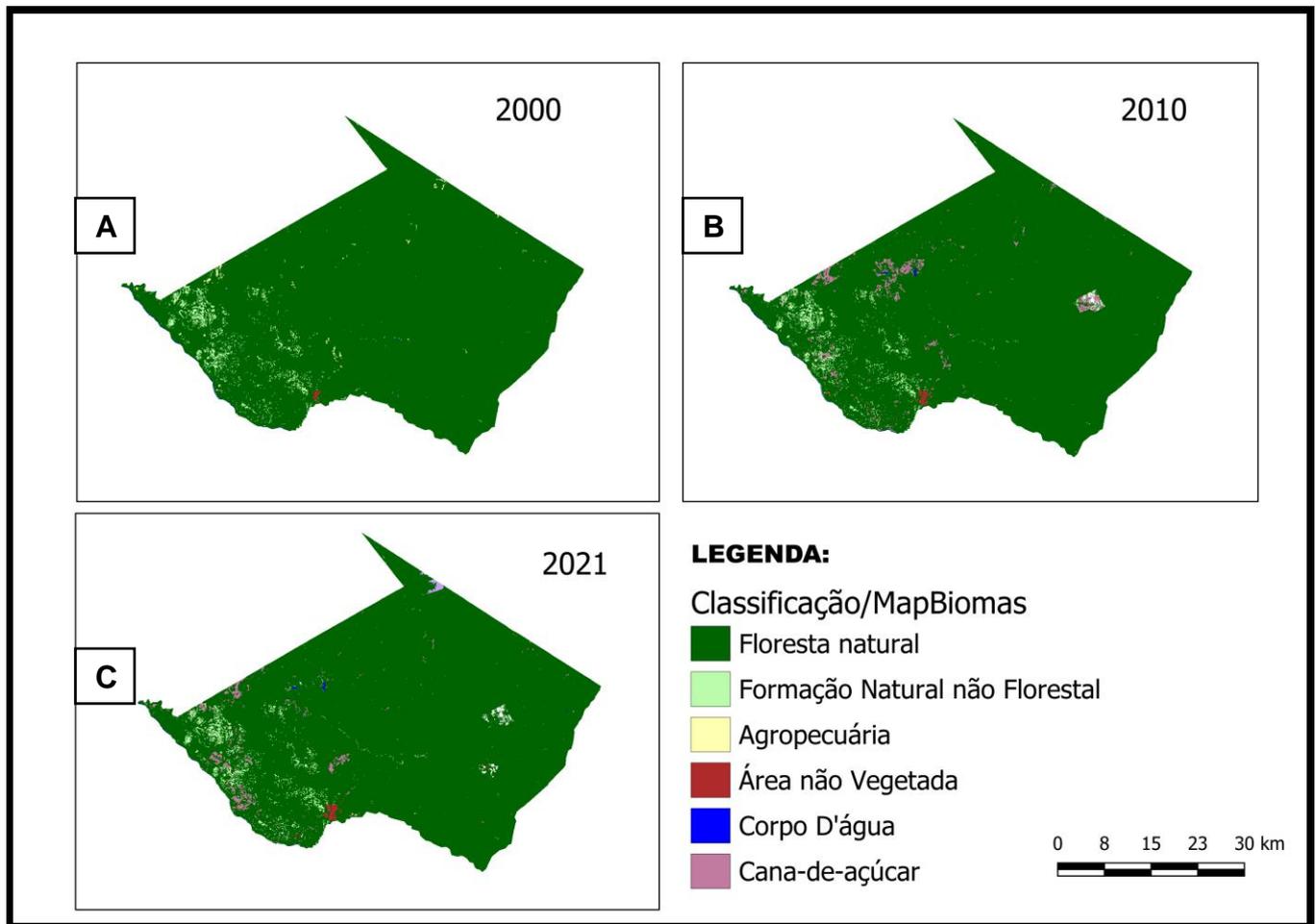
No *QGIS 3.30.3*, calcularam-se as métricas de paisagem a partir dos dados MapBiomas, com a assistência do plugin *Landscape Ecology Statistics (LecoS)*, que calcula estatísticas de camadas *Raster*. Para cada ano investigado sobre a área de estudo, aferiram-se os valores referentes às áreas das classes reclassificadas em hectares.

Nas estatísticas relativas ao total de área plantada em hectares e à produção de cana-de-açúcar em Aldeias Altas - MA, de acordo com a Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2023) utilizou-se o SIDRA, que é um banco de dados agregados em que são contempladas as informações obtidas por meio das pesquisas realizadas pelo IBGE.

3. Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta a forma de evolução do agronegócio, em geral, e de produção de cana de açúcar no município, por meio das mudanças de proporções das classes de cobertura do solo entre 2000 e 2021. No caso dos dados obtidos no MapBiomas v7.1, os níveis da acurácia global das classes 1, 2 e 3 são, respectivamente, 91.5%, 88.1% e 88.1% (Mapbiomas, 2023b).

Figura 3 – Cobertura e uso da terra de Aldeias Altas – MA, a cada dez anos (2000-2021).

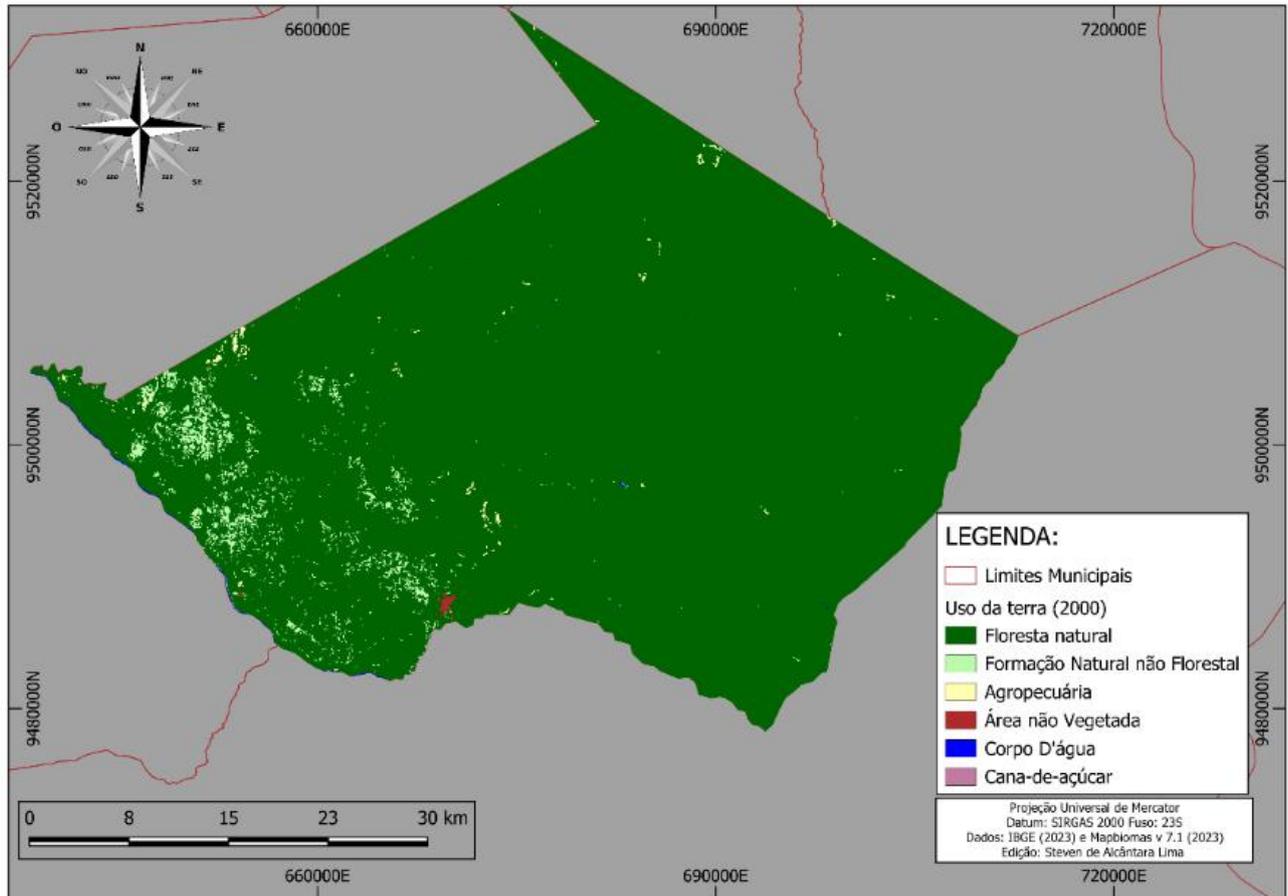


Fonte: Lima (2023).

Nos resultados, houve predominância da classe *Floresta Natural* em toda a extensão do município. Embora, a classe *Agropecuária* tenha demonstrado crescimento espacial a partir de 2010 (Figura 3 B), mantendo-se contínuo até 2021 (Figura 3 C), acarretando a redução de milhares de hectares de florestas naturais e de formações naturais não florestais. As principais mudanças ocorridas no período de estudo referem-se à redução das vegetações nativas, incluindo formações florestais e savânicas, e a expansão de áreas agrícolas e de pastagens que são utilizadas para as atividades agropecuárias. Em menor proporção, observa-se também o crescimento de áreas não vegetadas que estão diretamente relacionadas ao aumento da infraestrutura urbana do município de Aldeias Altas – MA.

No ano de 2000, a cobertura e o uso da terra de Aldeias Altas - MA (Figura 4) configurou-se com o maior destaque nas formações naturais, florestais ou não, no período analisado, com um total de 190.416,96 hectares. Apresentaram-se, apenas 558 hectares de ocupação para a agropecuária, seguidos de 164,79 hectares, referentes aos corpos d'água, e 123,3 hectares de áreas não vegetadas.

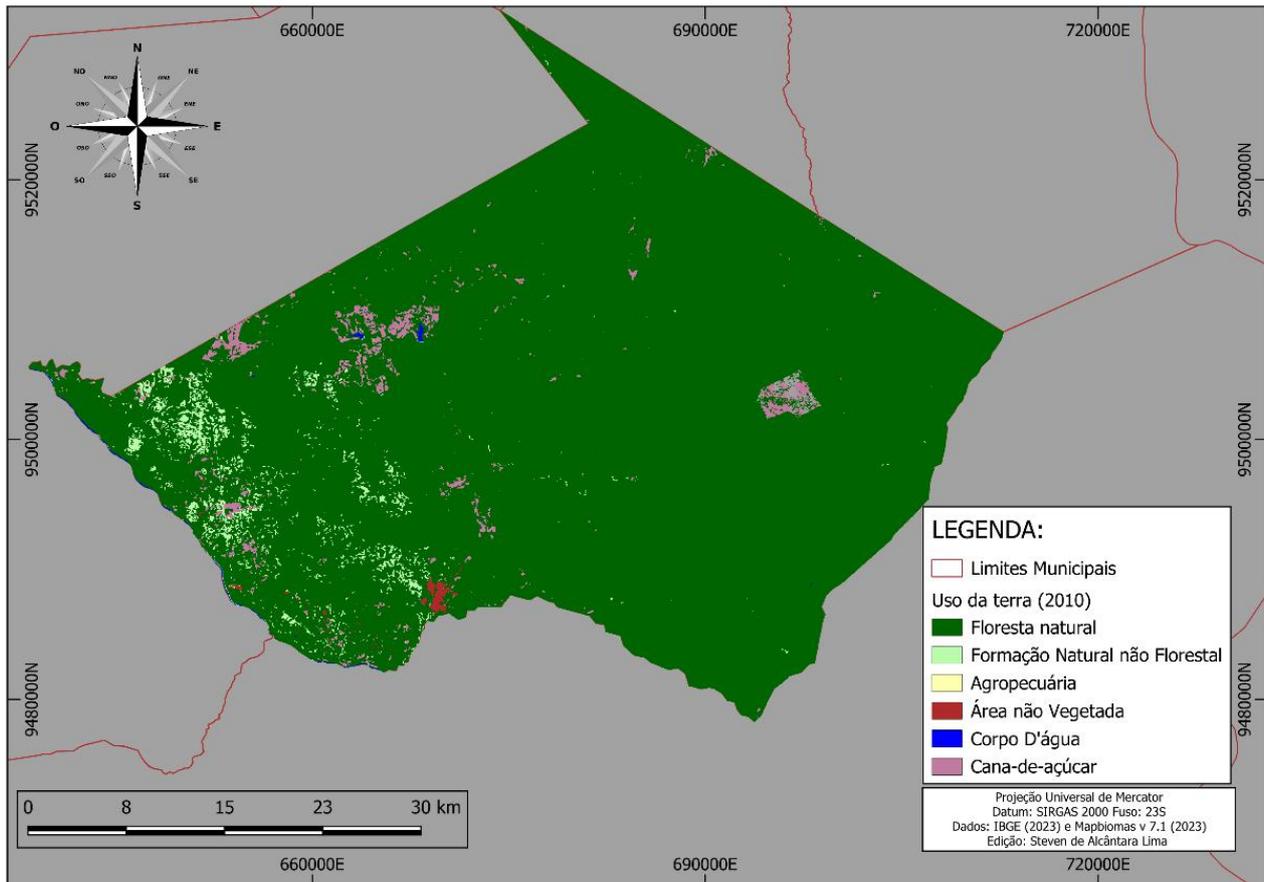
Figura 4 – Cobertura e uso da terra de Aldeias Altas – MA (2000).



Fonte: Lima (2023).

Na cobertura territorial da classe *cana-de-açúcar*, no ano 2010 (Figura 5), foi de 6.308 hectares, e para as demais áreas destinadas à agropecuária, 558 hectares. Comparando-se com ano 2000, constata-se que o território destinado para a atividade em questão cresceu em mais de 40 vezes a sua área.

Figura 5 – Cobertura e uso da terra de Aldeias Altas – MA (2010).



Fonte: Lima (2023).

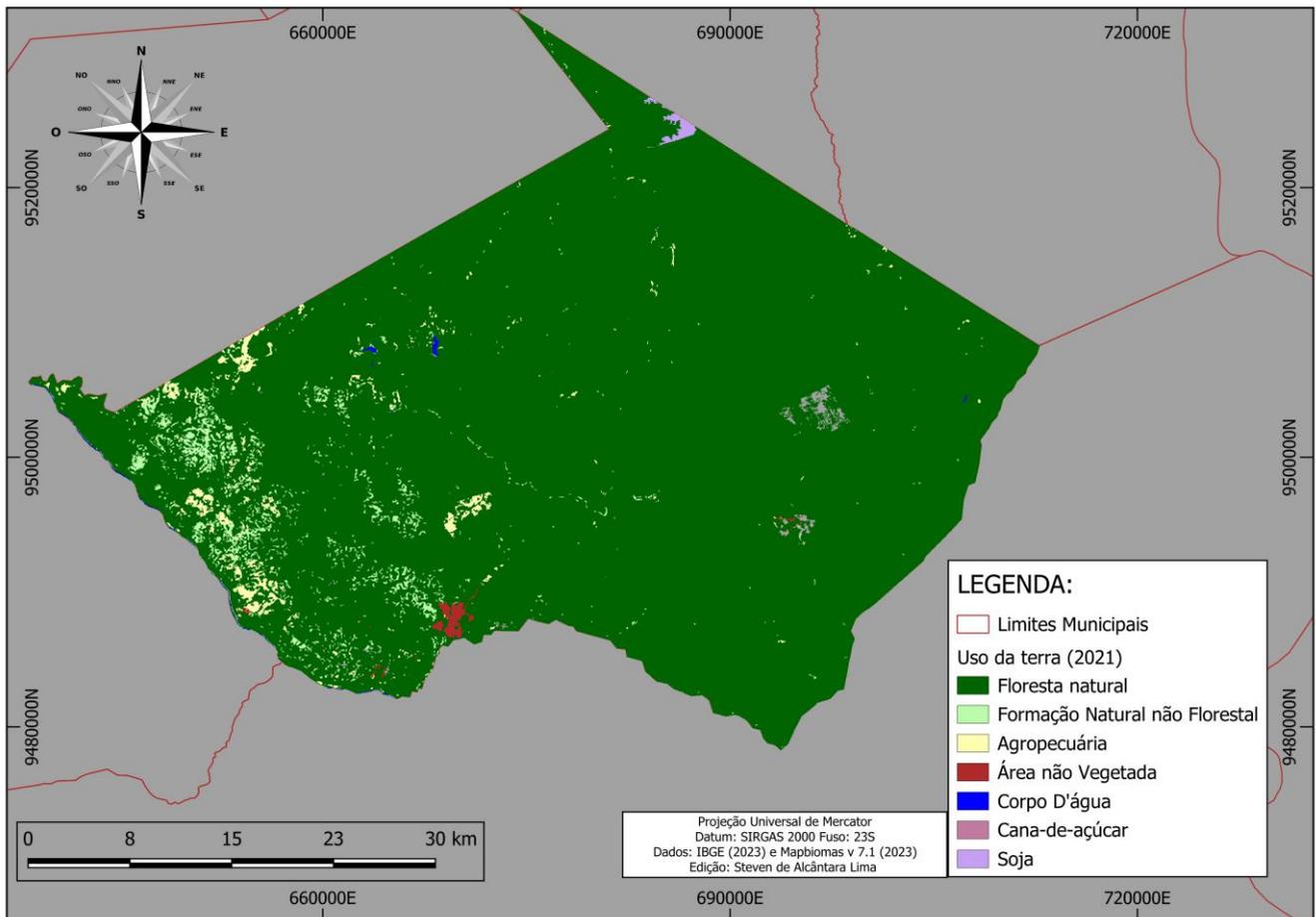
No ano de 2021, (Figura 6), percebe-se um gradual crescimento do território destinado cana-de-açúcar, bem como às demais atividades agropecuárias em virtude com a crescimento de outra agricultura temporária, a soja. Lemos (2015) relata que a expansão da soja no estado do Maranhão ocorreu de forma expressiva, do sul para o leste do estado, aproveitando-se de um vazio de política pública que, ao não prover assistência técnica, extensão e fomento rural adequados, desestimulava a produção dos itens tradicionais da agricultura familiar – fato agravado pela falta de zoneamento agroecológico que estabeleceria limites de expansão para as atividades agrícolas do estado.

Com tal característica, a expansão da soja no município de Aldeias altas também impacta na retração da produção das lavouras tradicionais de arroz, feijão, mandioca e milho na produção da agricultura familiar do município como na área de floresta natural, que já está perdendo espaço para agricultura de cana-de-açúcar.

Segundo Soterroni et al. (2018), no âmbito das políticas públicas ambientais, o Código Florestal brasileiro publicado no ano de 2012 prevê o controle do desmatamento e restauração florestal. Entre suas principais colaborações está a identificação de percentual mínimo para reserva legal, ou seja, a vegetação a ser preservada, variando entre os biomas.

Na Amazônia, por exemplo, é de 80%, enquanto, no Cerrado, esse percentual diminui drasticamente para 35%. No último dez anos, constata-se uma forte pressão para afrouxar as proteções ambientais para a exploração dos recursos naturais, isso inclui principalmente para uso no agronegócio da soja e cana-de-açúcar

Figura 6 – Cobertura e uso da terra de Aldeias Altas – MA (2021).



Fonte: Lima (2023).

Nos anos 2010 e 2021, detectou-se um constante crescimento da atividade agropecuária da cana-de-açúcar e o aparecimento dos primeiros vestígios do uso da soja. Todavia, entre os anos 2000 e 2010 (Figura 5), encontra-se o maior crescimento territorial nos períodos analisados, em relação às plantações de cana-de-açúcar.

Já no caso do crescimento urbano ou as classes de áreas não vegetadas, em 2000 eram apenas 123,3 hectares destinados a porção urbana do município de Aldeias Altas que equivale a 42,80% da área total de uso e ocupação dele. Respectivamente nos anos seguintes de 2010 e 2021, a classe de as áreas não vegetadas teve significativa alteração de 123,3 hectares em 2000 para 156 hectares em 2010, e 165 hectares em 2021, portanto teve um aumento de 30% ao longo dos 21 anos.

O avanço da área urbana se dá ao desenvolvimento econômico da região, as atividades de agricultura se potencializaram no cultivo da cana de açúcar, visto que, em um raio de 25 km se tem usina agroindústria do seguimento bioenergético, que demandam o cultivo de açúcar, com foco na produção de etanol anidro e hidratado.

Esse intenso processo de urbanização pode acarretar impactos representativos para o meio urbano do município, como por exemplo, um aumento em inundações, decorrente do aumento de áreas impermeabilizadas, assim como o escoamento superficial.

Stanganini e Lollo (2018) relataram problemas relacionados aos impactos ambientais do processo de urbanização e, principalmente, à supressão da vegetação nativa e que essas mudanças na composição das cidades brasileiras apontam para um conjunto de problemas e consequências ambientais comuns entre os municípios, destacando-se as questões relacionadas ao uso e à ocupação da terra, à mobilidade urbana e ao saneamento ambiental.

A Tabela 2 mostra os valores em hectares das métricas de paisagem, a partir do MapBiomias, nos anos definidos para o presente estudo. Na comparação com os dados referentes às áreas de plantação ou destinadas à colheita de cana-de-açúcar em Aldeias Altas (Tabela 3), disponibilizados pela PAM (IBGE, 2023).

Tabela 2 – Métricas MapBiomias: Cobertura do solo de Aldeias Altas – MA.

CLASSES	ANO		
	2000	2010	2021
Floresta natural (hectares)	190416,96	190116,96	190000,78
Formação natural não florestal (hectares)	3359,52	3359,52	3230,26
Agropecuária (hectares)	558	6308	7180
Área não vegetada (hectares)	123,3	156	165
Corpo D'água (hectares)	164,79	164,79	164,79
Cana-de-açúcar (hectares)	-	6308	7180

Fonte: Adaptado de MapBiomias (2023).

Tabela 3 – PAM: Área plantada ou destinada à colheita

Ano	Área plantada ou destinada à colheita (hectares)
2000	50
2010	6308
2021	7180

Fonte: Adaptado de IBGE (2023).

Apesar disso, há discrepâncias entre os resultados adquiridos por meio do Projeto MapBiomias e os dados da PAM na análise da Tabela 2 em relação a Tabela 3. De acordo com a PAM, em 2000, já havia 50 hectares de plantação de cana-de-açúcar, enquanto nas métricas do MapBiomias, não se identificaram áreas destinadas para esse fim no ano 2000.

Aliás, há desigualdades entre os valores identificados pelo MapBiomias e os informados pela PAM. Apesar disso, tais discrepâncias estão dentro do esperado, considerando-se a acurácia global do sensoriamento remoto aplicado pelo MapBiomias.

4. Considerações Finais

O trabalho mostrou-se eficiente para a mensuração da expansão da agricultura da cana-de-açúcar no município de Aldeias Altas –MA nos anos de 2000 – 2010 – 2021. As principais conversões de uso da terra estão relacionadas ao aumento das áreas de cultivo da cana-de-açúcar e as áreas de não vegetação relacionado ao crescimento urbano do município.

Além disso, foram discutidas ocorrências que influenciaram na expansão do uso da terra na região do município embasadas na instalação da agroindústria em bioenergia (etanol). Fato tal, mostrou-se que a tese de que grande parte da expansão ocorrida se deu pelo fortalecimento da economia microrregional e a expansão do cultivo de cana de açúcar na região.

Aplicação das bases de dados geoespaciais permitem gerar informações com maior precisão, o uso do sensoriamento remoto, por meio do projeto MapBiomias v7.1, mostrou-se preciso, ao expor a evolução da monocultura no município, contribuindo para a melhor compreensão da dinâmica de transições das áreas agrícolas regionais e apoiando políticas públicas setoriais.

Propõe-se ainda que, além dos dados de área plantada, sejam incluídas informações acerca da produtividade, comercialização, industrialização, Infraestrutura, integrando a produção aos principais polos de industrialização, portos e fornecedores de insumos para cana-de-açúcar, disposto que se possa produzir informações de alta qualidade, referentes ao agronegócio da cana-de-açúcar e suas consequências para os municípios do estado do Maranhão, principalmente da região leste do estado.

Referências

- Alencar, A., Z. Shimbo, J., Lenti, F., Balzani Marques, C., Zimbres, B., Rosa, M., & Barroso, M. (2020). Mapping three decades of changes in the brazilian savanna native vegetation using landsat data processed in the google earth engine platform. *Remote Sensing*, 12(6), 924.
- Araujo, H. B., Pereira, P. R. M., Rodrigues, T. C. S., & da Costa Junior, E. P. B. (2019). Mudança de cobertura da terra nos municípios de chapadinha e buri- ma, entre os anos de 1990 e 2017/Change of earth coverage in the municipalities of Chapadinha and Buri-MA, between the years 1990 to 2017. *REVISTA GEONORTE*, 10(36), 194-214.
- Censo Agropecuário. (2017). Censo Agropecuário, Florestal e Aquícola 2017. *Censo Agro 2017: Município de Aldeias Altas – Maranhão*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://censoagro2017.ibge.gov.br/resultados-censo-agro-2017//malha-de-setores-censitarios.html>
- Costa, D. P., dos Santos, J. J., Chaves, J. M., & de Vasconcelos, R. N. (2018). Novas tecnologias e sensoriamento remoto: aplicação de uma oficina didática para a disseminação das potencialidades dos produtos e ferramentas do mapbiomas. *Sustainability, Agri, Food and Environmental Research*, 6(3), 323086.
- Costa, R. N. M., de Andrade, A. P., & Araujo, K. D. (2011). Cobertura vegetal e evolução do uso agrícola do solo da região de chapadinha-MA. *Acta Tecnológica*, 6(1), 45-61.
- Codevasf. (2023). Companhia de Desenvolvimento do Vale do Francisco e do Parnaíba. Bacias Hidrográficas do Maranhão. *Munim — Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba Codevasf*. <https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/munim>.
- Cuenca, M. A. G. C., & Mandarino, D. C. M. (2007). *Nova fronteira da atividade canavieira nos principais municípios produtores do estado do Maranhão, 1990, 1995, 2000 e 2005*. Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- Embrapa. (2023b). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Solos do Brasil: Aldeias Altas (MA)*. <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>.
- Embrapa. (2023a). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Classificação dos climas do Brasil: Aldeias Altas (MA)*. <https://www.cnpf.embrapa.br>
- Fortunato, U. M. C., de Barros Silva, A., & Fernandes, L. A. (2019). Análise Temporal-Espacial da Fragmentação da Mata Atlântica Em Salvador (BA) Entre 2000-2017.
- Ibge. (2020). *Sistema de Recuperação Automática (SIDRA): Aldeias Altas*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://sidra.ibge.gov.br/territorio/#/N6/2100303>
- Ibge. (2022). *Cidades: Aldeias Altas*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <https://cidades.ibge.gov.br>.
- Ibge. (2023). PAM – Produção Agrícola Municipal. Aldeias Altas (MA). *Cidades e Estados*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
- Lemos, J. D. J. S. (2015). Efeitos da expansão da soja na resiliência da agricultura familiar no Maranhão. *Revista de Política Agrícola*, 24(2), 26-37.
- Mapbiomas. (2023a) *Coleção v7.1 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil*. <http://mapbiomas.org>.
- Mapbiomas. (2023b) *Estatística de acurácia*. <https://mapbiomas.org/estatistica-de-acuracia>.
- Rodriguez, J. M. M., Silva, E. V., & Cavalcanti, A. P. B. (2013). *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. 4. ed. Fortaleza: UFC, 2013.
- Santos, L. A., Ferreira, K., Picoli, M., Câmara, G., Zurita-Milla, R., & Augustijn, E. W. (2021). Identifying spatiotemporal patterns in land use and cover samples from satellite image time series. *Remote Sensing*, 13(5), 974.
- Santos, I. E. (2012). *Manual de métodos e técnicas de pesquisa científica* (9a ed.). Niterói: Impetus.
- Silva, C. A. A. C., de Oliveira, K. A., Castro, M. P. P., da Silva Oliveira, A. K., da Silva Sousa, W., & Almeida, E. I. B. (2019). Análise da dinâmica no uso da terra maranhense na Amazônia Legal. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 14(3), 443-452.
- Soteroni, A. C., Mosnier, A., Carvalho, A. X., Câmara, G., Obersteiner, M., Andrade, P. R., Souza, R. C., Brock, R., Pirker, J., Kraxner, F. Future environmental and agricultural impacts of Brazil's Forest Code. *Environmental Research Letters*, 13(7), 1-12, 2018. 10.1088/1748-9326/aaccbb
- Stanganini, F. N. & Lollo, J. A. (2018). O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*. 10(1), 118-28. <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.010.sup11.a014>