

# Comparative Analysis of Land Use and Land Cover in Alcântara, Maranhão, Brazil

Nayara Ketlen Cunha Ribeiro<sup>1</sup>, Jardenilson Souza Garcia<sup>1</sup>, Ana Maria Bender Seidenfuss das Neves<sup>1</sup>, Sergio Serra Silva<sup>2</sup>, Emanuele Silva Costa<sup>2</sup>, Anderson Diego da Silva Araujo<sup>2</sup>, Jefferson Matos Teixeira<sup>2</sup>, Aline Bessa Veloso<sup>3</sup>, João Paulo Tenório da Silva Santos<sup>2</sup>, Daniely Gaspar De Sousa<sup>2</sup>, Yllana Ferreira Marinho<sup>2</sup>, Joel Artur Rodrigues Dias<sup>2</sup>, Mikele Candida Sousa de Sant'Anna<sup>2</sup>, Hilton Costa Louzeiro<sup>2</sup>, Adilson Matheus Borges Machado<sup>2</sup>



*Ensino Médio, Centro Educa Mais Aquiles Batista, Alcântara, Maranhão, Brasil<sup>1</sup>; Universidade Federal do Maranhão, Brasil<sup>2</sup> and Agência Espacial Brasileira (AEB), Brasil<sup>3</sup>*

## Abstract

Transformations in land use and land cover (LULC) reflect complex environmental and socioeconomic dynamics, driven by both natural processes and human activities. These changes can profoundly impact biodiversity, water resources, and local climate, highlighting the need for continuous monitoring. In Alcântara, Maranhão, LULC transformations over the past three decades have been primarily influenced by agricultural expansion and aerospace projects. This study aims to analyze LULC changes in Alcântara over the last 30 years while fostering scientific education and community engagement through the GLOBE STEAM program. A mixed-methods approach was employed, integrating quantitative and qualitative analyses to identify landscape change patterns. Data were obtained from MapBiomas (Landsat 30m) and Sentinel-2 (10m) using Google Earth Engine and QGIS 3.34.4 LTR. The results indicate relative stability in mangrove and forest areas, while urban infrastructure has expanded despite a declining population. Forest cover decreased by 55.50 km<sup>2</sup>, whereas pastureland increased by 79.73 km<sup>2</sup>. The findings suggest a trend of forest conservation alongside gradual urban expansion, contributing to a deeper understanding of local environmental dynamics. These insights provide valuable input for territorial planning policies. Future research should further explore the relationship between LULC changes and environmental indicators, such as surface temperature variations and precipitation trends.

**Keywords:** LULC, MapBiomas, remote sensing, GLOBE, STEAM.

## Research Question

**Hypothesis:** As análises de LULC são indispensáveis para a busca pelo planejamento racional e ordenado das atividades que levam à expansão de mercado e avanço da infraestrutura urbana que poderá gerar impactos e processos negativos no planejamento territorial e na implementação de políticas públicas sustentáveis. Além disso, artigos científicos indicaram que os impactos das mudanças de LULC contribuem direta e indiretamente para questões ambientais, como poluição do ar e da água, desertificação, os processos hidrológicos em grandes bacias, reduzir a resiliência da floresta a eventos extremos (por exemplo, seca) e degradação da terra que geram o aumento das emissões de carbono (Zhang et al. 2022; Seixas et al. 2025).

**Question:** Como as análises de LULC, associadas à ciência cidadã por meio do Programa GLOBE e seus protocolos, podem contribuir para o planejamento territorial sustentável de Alcântara, minimizando impactos ambientais com vistas a um planejamento das atividades antrópicas, associado à conservação da biodiversidade e ao desenvolvimento social, econômico e sustentável da região?

## Introduction

### Content Knowledge

As transformações de LULC são indicadores para compreensão das dinâmicas ambientais e socioeconômicas de uma região. As atividades humanas estão alterando os padrões existentes de LULC, e as alterações nessas características podem resultar de processos naturais ou de atividades humanas, impactando diretamente a biodiversidade, os recursos hídricos e o clima local. Estudos anteriores indicam que mudanças no LULC levam à fragmentação de habitats e à degradação ambiental, afetando a resiliência dos ecossistemas (Manzanarez et al., 2022; Ullah et al., 2024).

Este estudo tem o objetivo de investigar as transformações no uso e cobertura da terra em Alcântara, Maranhão, ao longo dos últimos 30 anos, integrando a participação dos estudantes locais. A hipótese central é que, nesse período, Alcântara apresentou mudanças no uso e cobertura da terra, caracterizadas pela expansão de áreas urbanizadas e modificações nas áreas naturais. Além disso, a integração de estudantes locais em atividades de monitoramento ambiental, através dos programas GLOBE STEAM, não apenas enriqueceu o processo educativo, mas também forneceu dados importantes que contribuem para a compreensão dessas transformações e para a promoção da ciência cidadã no município.

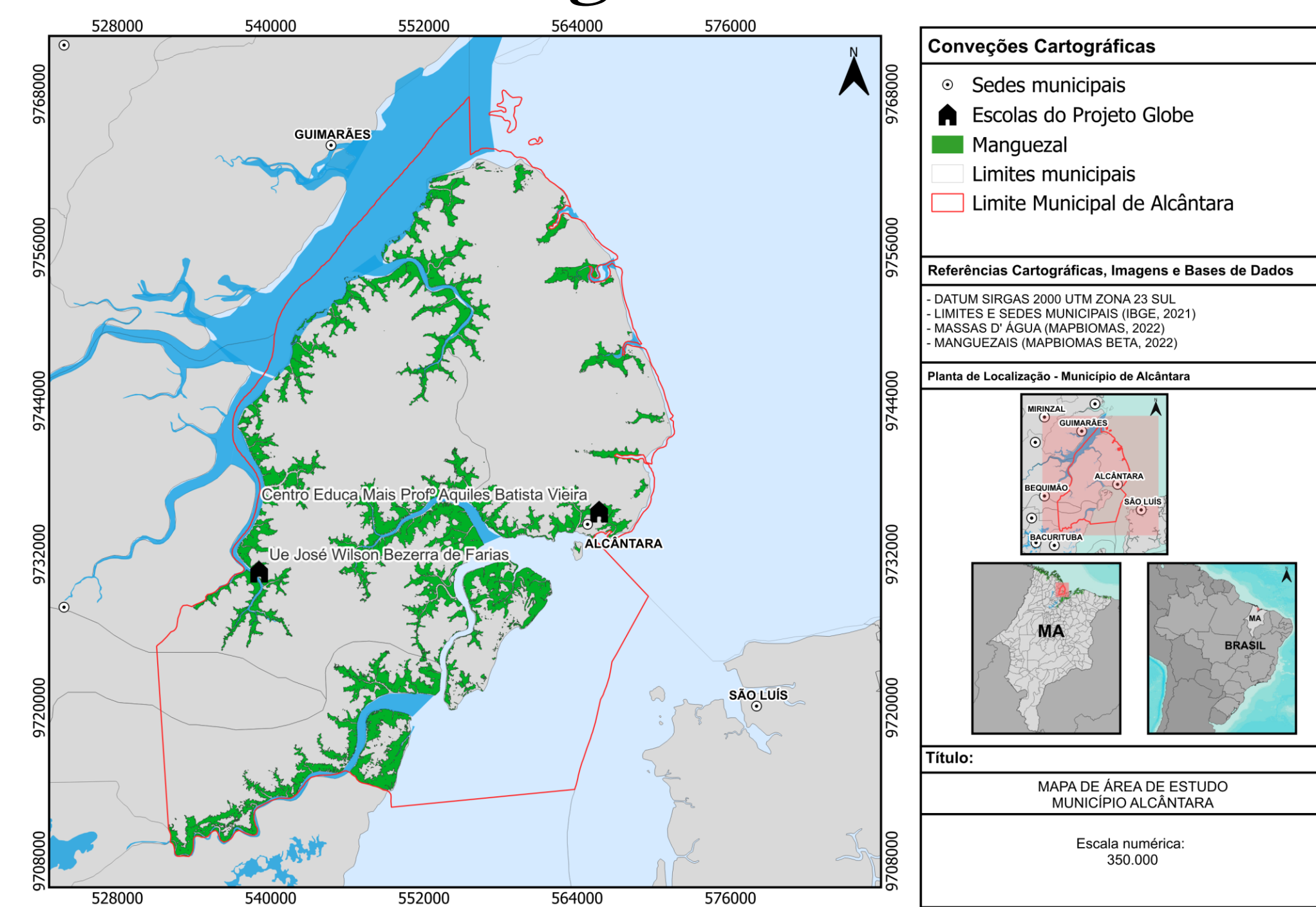
## Research Methods

### Planning Investigations

#### Study area

A pesquisa foi realizada no município de Alcântara, Maranhão, localizado na Mesorregião Norte Maranhense, Microrregião Litoral Ocidental Maranhense, uma região caracterizada ecossistemas diversificados com bioma predominantemente amazônico (Figura 1). O clima, segundo a classificação de Köppen, é tropical (Aw) com dois períodos bem definidos: um chuvoso, de janeiro a junho, e outro de estiagem, correspondente aos meses de julho a dezembro (Cavalcanti et al., 2022). As principais atividades econômicas envolvem agricultura, pesca e projetos espaciais.

Figure #1



### Data summary and analysis

A metodologia utiliza dados de imagens da Coleção 9 do MapBiomas (1985-2023) baseada em imagens Landsat (resolução espacial de 30 metros). Os dados foram processados no Google Earth Engine e QGIS 3.34 LTR para geração de mapas temáticos, enquanto análises numéricas e gráficos foram elaborados no Excel Online e Python no Google Colab.

Para comparar os dados de 30 metros com imagens de maior resolução, foi utilizada a Coleção BETA do MapBiomas (2016-2022), que emprega imagens Sentinel-2 de 10 metros. Essa coleção experimental mantém a metodologia e legenda da Coleção 7.1. Além disso, foram realizadas atividades de campo com alunos do 1º ano da CEM Aquiles Batista, em Alcântara, integrando conceitos de cobertura da terra e qualidade da água utilizando os protocolos do GLOBE Observer.

## GLOBE Badges

Be a **Collaborator**

O projeto foi desenvolvido de maneira colaborativa pelos estudantes do Centro Educa Mais Aquiles Batista no município de Alcântara, Maranhão, Brasil. A união de esforços permitiu que os estudantes pudessem aplicar metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento para analisar as transformações da paisagem entre 1985 e 2023, utilizando dados do MapBiomas e do protocolo Land Cover do GLOBE. A colaboração entre os estudantes resultou em uma abordagem integrada, permitindo a análise da relação entre as mudanças no uso da terra, o crescimento das atividades agrícolas e os possíveis impactos ambientais em Alcântara, evidenciando a necessidade de políticas públicas voltadas para o planejamento territorial e a conservação dos recursos naturais, incentivando a participação ativa da comunidade no monitoramento ambiental.

Be a **Data Scientist**

No contexto da preservação ambiental e das transformações da paisagem em Alcântara, Maranhão, os alunos do Centro Educa Mais Aquiles Batista se reuniram para investigar as mudanças no uso e cobertura da terra na região ao longo das últimas décadas. Para isso, os estudantes utilizaram dados do MapBiomas, técnicas de sensoriamento remoto no Google Earth Engine, QGIS e Excel Online, além de registros diretos via o aplicativo GLOBE Observer.

## Results

### Analyzing Data

Os mapas e o gráfico apresentados revelam a evolução do uso e cobertura da terra no município de Alcântara, Maranhão, de 1985 a 2023, destacando a dinâmica territorial ao longo do período analisado (Figure e 2). As áreas de manguezais e formação florestal são as mais predominantes e apresentam relativa estabilidade. As áreas de infraestrutura urbana mostram um crescimento ao longo do período, especialmente próximas à sede municipal, essa tendência aponta para o crescimento populacional que saiu de 21.521 em 2010 e passou para 18.467 em 2022, uma queda de -14,2% (IBGE, 2022).

O gráfico evidencia transformações significativas no uso e cobertura da terra no Brasil entre 1985 e 2023. A formação florestal apresentou uma redução de 55,50 km<sup>2</sup> entre 1985 e 2023. A pastagem aumentou em 79,73 km<sup>2</sup> no mesmo período. Já o campo alagado e a área pantanosa diminuíram em 15,71 km<sup>2</sup> (Figure 3).

Figure #2

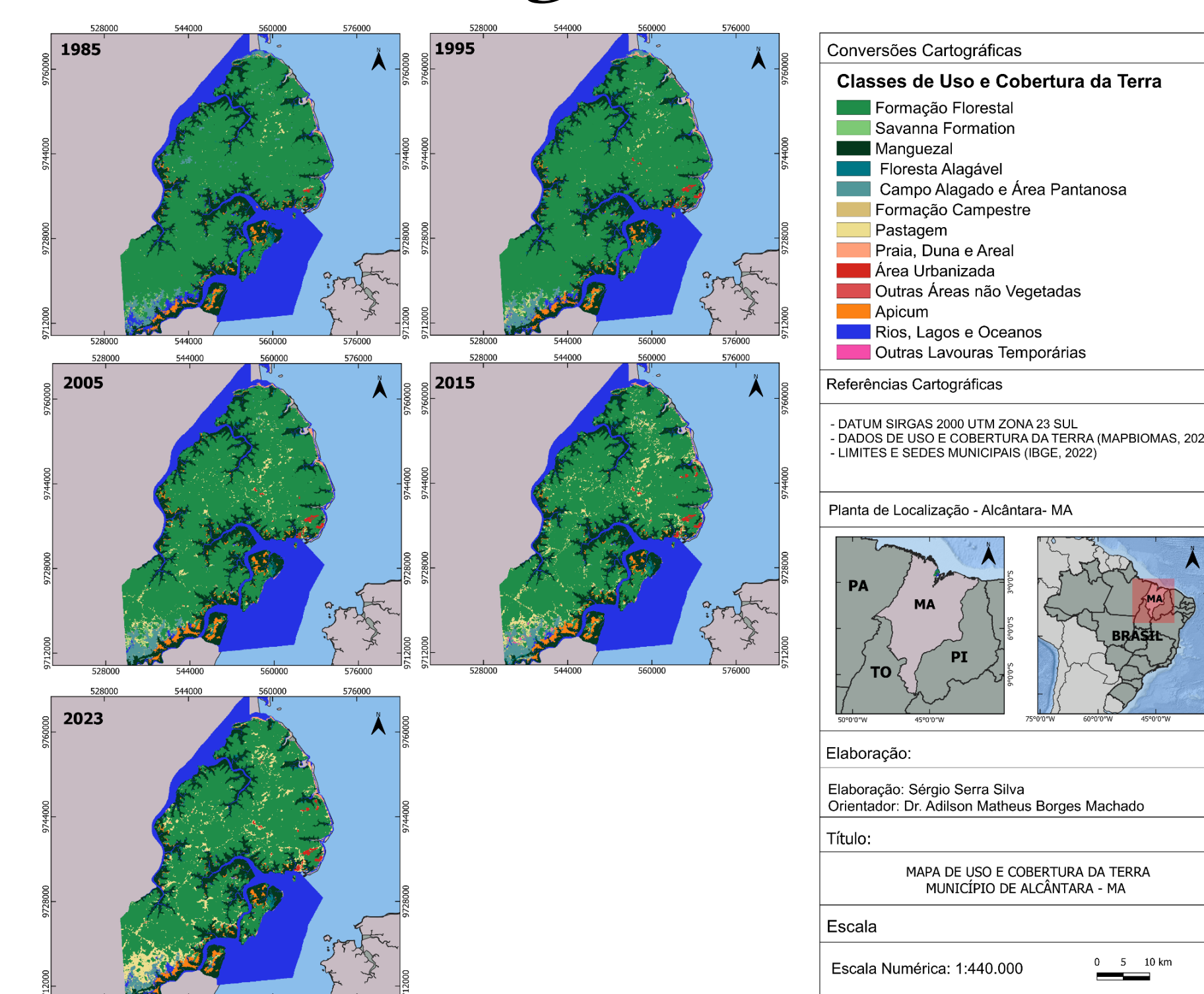
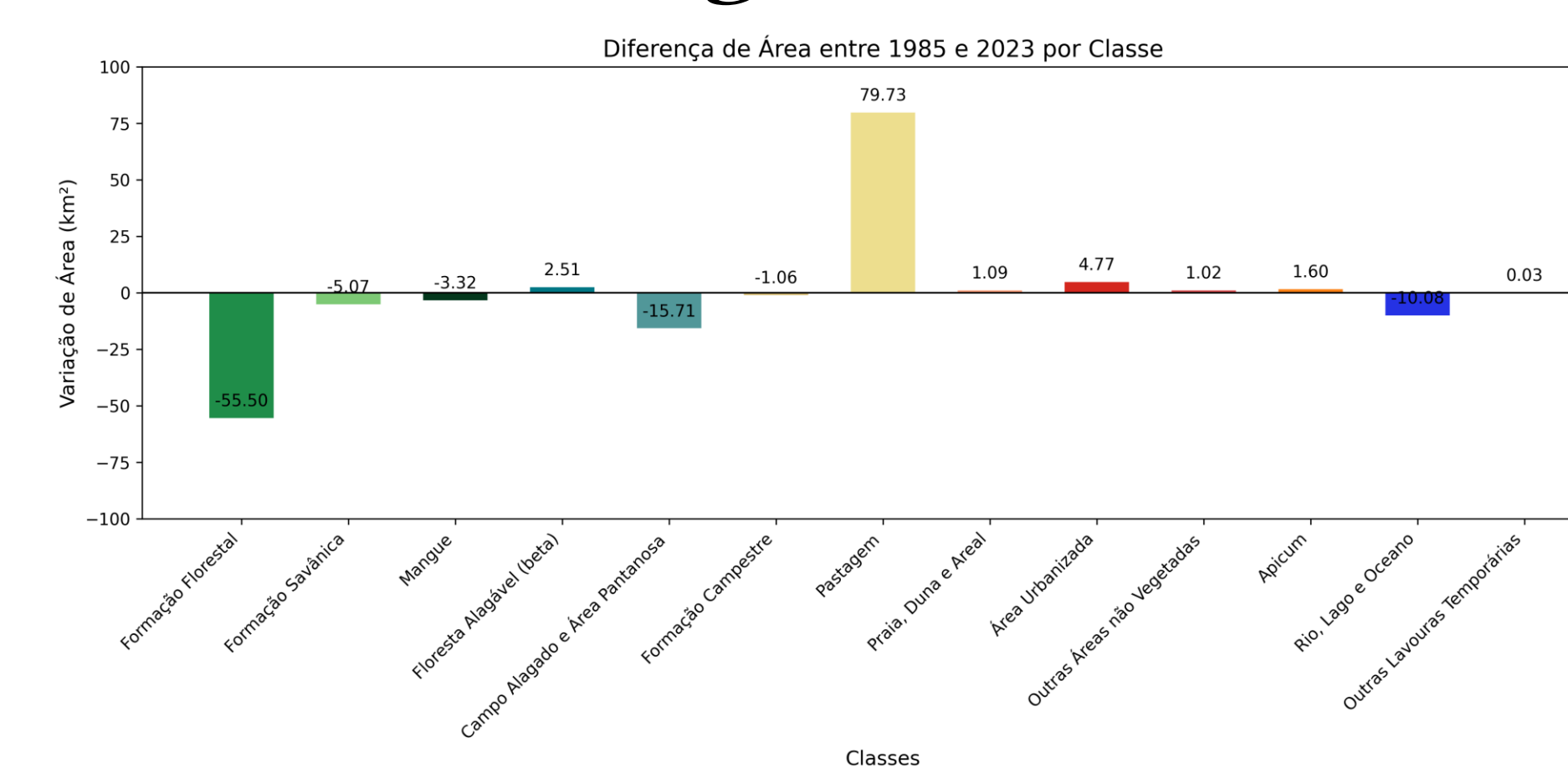
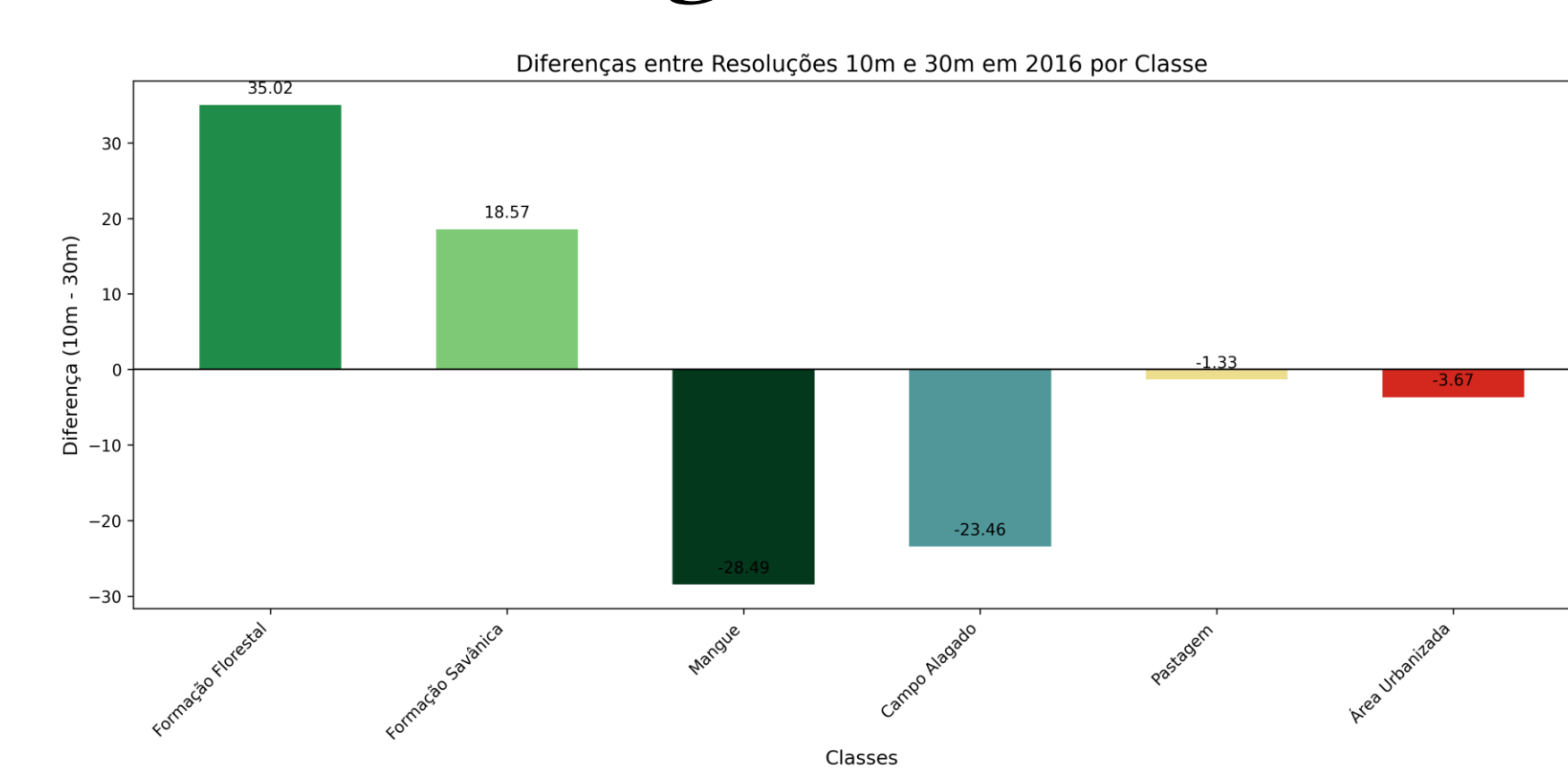


Figure #3



O gráfico compara as áreas de LULC em Alcântara usando resoluções de 10 m (Sentinel-2) e 30 m (Landsat). Observa-se um aumento nas áreas de formação florestal (+35,02 km<sup>2</sup>) e vegetação savânica (+18,57 km<sup>2</sup>) com maior resolução. Em contraste, as classes de mangue (-28,49 km<sup>2</sup>) e vegetação alagável (-23,46 km<sup>2</sup>) apresentam reduções. Pastagem (-1,33 km<sup>2</sup>) e área urbanizada (-3,67 km<sup>2</sup>) mostram variações menores.

Figure #4



As imagens mostram os alunos do ensino médio do Centro Educa Mais Aquiles Batista, em Alcântara, participando de atividades de campo aplicando o protocolo de Qualidade de Água, Land Cover e Clouds, utilizando o aplicativo GLOBE Observer.



### Field Photos

\* As imagens dos estudantes foram distorcidas para proteger os direitos de imagem daqueles cujos pais não assinaram o NASA Media Release for Parent and Minor.

## Discussion

### Interpreting Data

Entre 1985 e 2022, o uso e a cobertura da terra em Alcântara mostraram estabilidade em ecossistemas como manguezais e apícuns, enquanto áreas urbanizadas e de pastagem cresceram, especialmente na sede municipal. Amorim (2024) indica que as comunidades quilombolas utilizam técnicas construtivas tradicionais que favorecem o conforto ambiental, adaptando-se ao clima local.

As transformações observadas no uso e cobertura da terra em Alcântara, Maranhão, refletem tendências globais de conversão de áreas naturais em superfícies antrópicas. Debortoli et al. (2016) afirmam que a conversão e a degradação florestal reduzem os níveis de evapotranspiração, com implicações na geração de precipitação, tanto local como em longas distâncias.

Os dados analisados confirmam parcialmente essa premissa, indicando um aumento do uso antrópico ao longo dos anos, mesmo diante da redução populacional entre 2010 e 2022. No entanto, a conversão da vegetação nativa ocorreu predominantemente para áreas de pastagem, refletindo um padrão consistente.

O mesmo padrão foi observado nas classes de pastagem e área urbanizada, que indicam que o Sentinel-2 captura melhor pequenas manchas de ocupação antrópica que não são tão bem delimitadas na resolução de 30 metros (i.e., estradas vicinais).

Este estudo reforça que a ferramenta Land Cover do aplicativo GLOBE Observer promove a ciência cidadã, promovendo a participação dos estudantes no monitoramento da paisagem.

## Conclusions

A análise da evolução do uso e cobertura da terra em Alcântara entre 1985 e 2022 revelou uma dinâmica territorial caracterizada pela estabilidade dos ecossistemas costeiros, como manguezais e apícuns, e pela expansão de áreas urbanas e pastagens. Utilizando imagens de satélite com resoluções de 10m (Sentinel-2) e 30m (Landsat), observou-se que o padrão de distribuição espacial das coberturas variou conforme a resolução, com o Sentinel-2 sendo mais eficaz na captura de pequenas manchas de ocupação humana e na delimitação de classes fragmentadas de uso da terra.

A hipótese inicial de redução das áreas naturais e expansão urbana foi parcialmente confirmada, evidenciando que a conversão da vegetação nativa ocorreu predominantemente para pastagens. A comparação das resoluções espaciais reforça a importância de tecnologias de alta resolução no monitoramento de transições paisagísticas. Para futuras pesquisas, recomenda-se a implementação de protocolos contínuos de monitoramento com o GLOBE Observer, associando dados de alta resolução e promovendo a ciência cidadã com a participação da comunidade local. Além disso, sugere-se investigar os impactos do uso da terra na temperatura da superfície, índices de pluviosidade e vegetação, com maior envolvimento de estudantes na análise dos efeitos ambientais da urbanização em Alcântara.

## References

- Amorim, M. (2024). *Conforto ambiental nos quilombos de Alcântara/MA: uma abordagem sob a ótica dos moradores*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://portal.usp.br/diversidade/moradias-quilombolas-de-alcantara-no-maranhao-sao-mais-bem-planejadas-que-as-casas-oferecidas-para-aeronautica/>.
- Cavalcanti, L. F., do N Feitosa, F. A., Cutrim, M. V., de JF Montes, M., Lourenço, C. B., Furtado, J. A., & dos S Sá, A. K. D. (2022). Drivers of phytoplankton biomass and diversity in a macrotidal bay of the Amazon Mangrove Coast, a Ramsar site. *Ecology & Hydrology*, *22*(3), 435-453.
- Congalton, R. G., Gu, J., Yadav, K., Thenkabil, P., & Ozdogan, M. (2014). Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis. *Remote Sensing*, *6*(12), 12070-12093.
- Debortoli, N., Coelho, C. A., & Rodrigues, R. (2016). Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. *International Journal of Climatology*, *37*(6), 2889-2900. <https://doi.org/10.1002/joc.4886>.
- Goodin, D. G., Anibas, K. L., & Bezymennyi, M. (2015). Mapping land cover and use from object-based classification: An example from a complex agricultural landscape. *International Journal of Remote Sensing*, *36*(15), 4702-4723.
- Manzanarez, S., Manian, V., & Santos, M. (2022). Land use land cover labeling of GLOBE images using a deep learning fusion model. *Sensors*, *22*(18), 6895.
- MapBiomas. (2024). MapBiomas Coleção 9: Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org.br/publicacoes/mapbiomas-colecao-9-mapeamento-anual-de-cobertura-e-uso-da-terra-no-brasil-de-1985-a-2023/>.
- Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Land use and land cover mapping using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A comparison of two composition methods. *Remote Sensing*, *14*(9), 1977.
- Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. *Land*, *10*(9), 994.
- Seixas, H. T., Silveira, H. L. F. D., Mendes, A. P. D. S. F., Soares, F. D. S., & da Silva, R. F. B. (2025). Conversion from Forest to Agriculture in the Brazilian Amazon from 1985 to 2021. *Land*, *14*(2), 300.
- Ullah, W., Ullah, S., Bräuning, A., Javed, M. F., Subhanullah, M., Abdullah, M., ... & Rahman, A. (2024). Mudanças no uso e cobertura da terra e na temperatura da superfície terrestre e sua relação com a modificação humana no território da Capital de Islamabad, Paquistão. *Brazilian Journal of Biology*, *84*, e281700.
- Zhang, J., Ren, M., Lu, X., Li, Y., & Cao, J. (2022). Effect of the belt and road initiatives on trade and its related LUCC and ecosystem services of central asian nations. *Land*, *11*(6), 828.
- Zhao, X., Wang, P., Gao, S., Yasir, M., & Islam, Q. U. (2023). Combining LSTM and PLUS Models to Predict Future Urban Land Use and Land Cover Change: A Case in Dongying City, China. *Remote Sensing*, *15*(9), 2370. <https://doi.org/10.3390/rs15092370>.