

MODELAGEM DE CENÁRIOS FUTUROS DE ESTOQUE E SEQUESTRO DE CARBONO GERADOS POR SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE MATO GROSSO DO SUL, UTILIZANDO O MODELO INVEST

Amanda Ayumi de Souza Amede Sato
Bruno Henrique Machado da Silva
Vitor Matheus Bacani

- Resumo expandido
- Projeto de pesquisa
- Relato de experiência

EIXO TEMÁTICO

- Dinâmica Ambiental e Planejamento
- Dinâmicas Territoriais na Cidade e no Campo
- Ensino de Geografia, Educação Ambiental e Práticas Pedagógicas

1) INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

As atividades antrópicas referentes às mudanças no uso e cobertura da terra (UCT) vêm causando crescente preocupação quanto às alterações ambientais, entre elas, a climática, que ocorre devido à decorrente emissão de dióxido de carbono (CO₂), e outros gases de efeito estufa (GEE).

Uma solução prática para se avaliar os impactos dessas atividades e benefícios dos serviços ecossistêmicos gerados pelas alterações no uso e cobertura da terra tem sido a adoção de modelos dinâmicos combinados. Modelos preditivos de UCT combinados com a modelagem de avaliação de serviços ecossistêmicos gerados pelo estoque e sequestro de carbono, os quais têm se demonstrado muito eficazes na gestão e planejamento de políticas públicas (ABDO; PRAKASH, 2021; FERNANDES *et al.*, 2020; FERNANDES *et al.*, 2021).

As técnicas de sensoriamento remoto são utilizadas com o objetivo de obter informações à distância sem contato com o objeto a ser captado. O processo de captação desses dados, através de sistemas sensores, envolve interações entre a superfície terrestre e a radiação eletromagnética, onde ocorrem os processos de emissão e reflexão de ondas da mesma, e, posteriormente os dados são transmitidos para redes de captação na Terra, podendo ser transformados para outras formas de dados passíveis de interpretação (FLORENZANO, 2002).

De acordo com Rosa (2011), as geotecnologias ou o geoprocessamento se tratam de um conjunto de tecnologias que envolvem a coleta,



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGEO

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”

24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

processamento, análise e oferta de informações que possuem referência geográfica, sendo compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que em conjunto se constituem de grandes ferramentas para a tomada de decisões. Assim, sendo a tecnologia dos SIG's muito comum na utilização integrada dos dados espaciais (FITZ, 2008).

Dentre os produtos que podem ser gerados a partir dos dados de sensoriamento remoto, tem-se o mapeamento do UCT, que são potencializados pela ação antrópica através das transformações paisagísticas relacionadas a produção econômica do Estado de MS, afetando diretamente os serviços ecossistêmicos (FAN; CHEN, 2019). Conforme a lei nº 14.119/2021, serviços ecossistêmicos são definidos como benefícios relevantes para a sociedade que são gerados pelos ecossistemas em termos de manutenção, recuperação ou melhoria de condições ambientais (BRASIL, 2021).

Como resposta às atividades antrópicas, existe uma crescente preocupação em relação às mudanças ambientais, incluindo as mudanças climáticas, que resultam na emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa (GEE). Dessa forma, são utilizadas estratégias e atividades que colaboram para maximizar o sequestro de carbono como forma de mitigar essas emissões de GEE (CARVALHO *et al.*, 2010).

O Estado de Mato Grosso do Sul abrange três biomas brasileiros: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal (IBGE, 2019), cujo avanço da atividade agropecuária sobre a vegetação natural tem ameaçado a neutralização dos GEE por meio da redução dos sumidouros de carbono (SILVA *et al.*, 2011; MARTINS *et al.*, 2020; CUNHA *et al.*, 2020; GUERRA *et al.*, 2020).

Neste contexto, o estudo é interessante ao poder público no gerenciamento territorial, como também aos serviços ambientais, que possuem relevante influência regional, sendo um avanço quanto aos estudos sobre as emissões de GEE, inéditos para o Estado de MS, carregando grande contribuição nas tomadas de decisão quanto aos serviços ambientais, servindo de suporte às políticas públicas.

2) OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

Objetivo Geral:

Este trabalho tem como objetivo realizar a avaliação espacial do estoque e sequestro de carbono para o Estado de MS nos anos de 1985, 2007, 2015 e 2020, realizando sua simulação para o cenário dos anos de 2030 e 2050, a partir dos modelos CA-Markov e InVEST.

Objetivos Específicos:

- Analisar as mudanças no estoque e sequestro de carbono para os anos de 1985, 2007, 2015 e 2020;
- Analisar a distribuição espacial do carbono orgânico do solo no MS;



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGeo

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”

24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

- Avaliar, por meio da simulação, o sequestro de carbono para os anos de 2030 e 2050 em dois cenários: manutenção da tendência atual e no cenário conservacionista, conforme a legislação ambiental;
- Estimar o valor monetário do sequestro de carbono nos diferentes cenários de serviços ecossistêmicos.

3) METODOLOGIA

O Estado de Mato Grosso do Sul está localizado na região centro-oeste do Brasil e possui uma área de aproximadamente 357.147,994 km² (IBGE, 2021). Essa área abrange os biomas do Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal.

A constituição do banco de dados será baseada em diferentes projetos de mapas temáticos, bem como em imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e imagens de satélite.

Para a consecução dos resultados serão utilizados os mapeamentos de uso e cobertura da terra disponibilizados pelo projeto MapBiomas (SOUZA *et al.*, 2020), que serão adaptados para atender às especificidades do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1).

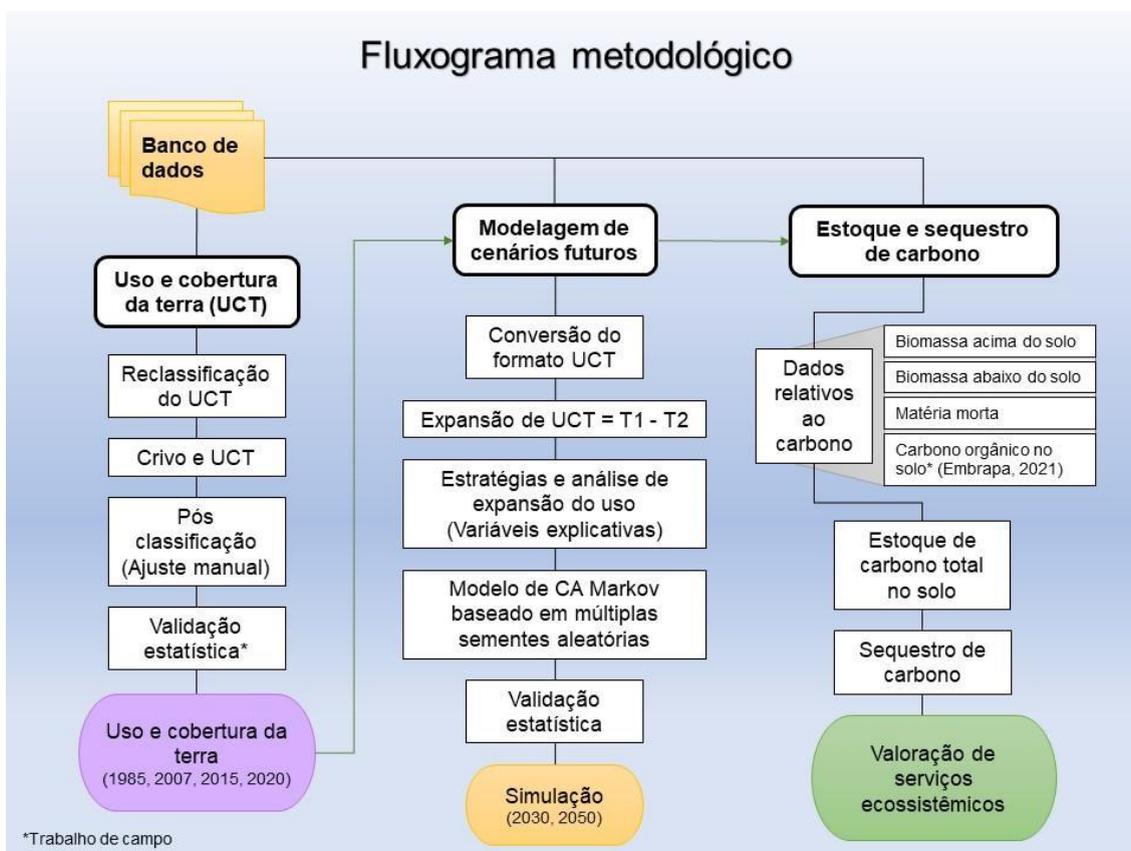


Figura 1: Fluxograma metodológico.

A avaliação da classificação se pautará na utilização de parâmetros estatísticos clássicos para validação do mapeamento temático do uso e



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGeo

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”

24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

cobertura da terra, tais como: o índice de concordância Kappa (Eq. 1), parâmetros de avaliação de desempenho da classificação por classe (Eq. 2), valores dos erros de omissão e inclusão (Eq. 3 e 4 respectivamente) e acurácia global da classificação (Eq. 5). Nesta etapa serão selecionados pontos amostrais obtidos em trabalho campo, interpretados como verdade terrestre conforme preconizado por Congalton (1991). Estes pontos estarão dispostos em uma matriz de erros e confrontados com a classificação obtida.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (1)$$

$$Precisão_{classe_x} = \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (2)$$

$$Erros_{omissão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{+i}} \right) \quad (3)$$

$$Erros_{inclusão} = 1 - \left(\frac{x_{ii}}{x_{i+}} \right) \quad (4)$$

$$Acurácia_{global} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k x_{ii}}{N} \right) \quad (5)$$

Onde:

\hat{K} : valor estimado *Kappa*;

k : número de linhas;

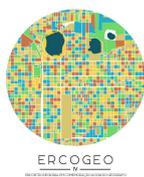
x_{ii} : número de observações na linha i e coluna i ;

$\sum_{i=1}^k x_{ii}$: soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;

x_{i+} : soma total das observações para as linhas;

x_{+i} : soma total das observações para as colunas;

N : número de observações total.



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGeo

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”

24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

Para auxiliar na análise das classificações, os valores do índice Kappa serão comparados aos limiares estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Limiares do índice Kappa.

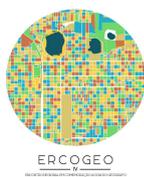
Índice Kappa	Concordância
0.00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Boa
0,61 a 0,80	Muito Boa
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977, p. 165).

A modelagem preditiva do UCT será realizada a partir do software *Patch-Generating Land Use Simulation* (PLUS) no método CA-Markov (Liang *et al.*, 2021). Dessa forma, esses modelos serão utilizados na elaboração da simulação das mudanças no UCT pelos cenários de tendência atual e conservacionista.

Com base no mapeamento do UCT, será realizado o mapeamento do estoque e sequestro de carbono para os anos de 1985, 2007, 2015 e 2020. Esses dados serão utilizados como base para a modelagem preditiva dos anos de 2030 e 2050, considerando os dois cenários futuros, utilizando o modelo InVEST. Será gerada uma tabela de armazenamento de carbono utilizando os relatórios do SIRENE (Sistema de Registro Nacional de Emissões) desenvolvido pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), as diretrizes do IPCC (2006) e a revisão da literatura. Esses dados incluirão o armazenamento de carbono na biomassa acima e abaixo do solo, carbono orgânico do solo e carbono de madeira morta em diferentes classes do mapa de UCT.

Para validar o modelo, serão conduzidos levantamentos de campo para coleta de amostras do solo, com um mínimo de 30 amostras por classe de UCT. Essas amostras serão utilizadas para a extração de dados de carbono, que serão analisados por meio de estatística descritiva e métodos



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGEO

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”
24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

geoestatísticos, como a interpolação por krigagem. Por fim, será realizada a estimativa dos valores monetários do sequestro de carbono para cada cenário de serviços ecossistêmicos, considerando uma taxa por tonelada em dólar (RICKE *et al.*, 2018).

4) RESULTADOS ESPERADOS

Os resultados esperados são:

- Geração de mapas que representem as mudanças na paisagem desde o ano de 1985 até o ano de 2021. Esses mapas serão úteis para compreender as transformações ocorridas no uso e cobertura da terra ao longo do tempo.
- Modelagem de cenários futuros para os anos de 2030 e 2050. Essa modelagem permitirá prever possíveis cenários de mudanças na paisagem, considerando tanto a tendência atual como um cenário conservacionista. Isso será valioso para apoiar a gestão estadual relacionada ao uso e cobertura da terra, bem como preocupações associadas à perda e ao sequestro de carbono.
- Previsão do estoque e sequestro de carbono para o Estado de Mato Grosso do Sul nos cenários de tendência atual e conservacionista referentes aos anos de 2030 e 2050. Isso fornecerá informações importantes sobre as mudanças esperadas no estoque de carbono e ajudará a avaliar os esforços de mitigação.
- Quantificação dos valores monetários associados ao sequestro de carbono nos cenários mencionados. Isso permitirá estimar o valor econômico do sequestro de carbono e fornecer diretrizes para tomadas de decisão relacionadas aos serviços ambientais.
- Elaboração e divulgação dos resultados no meio científico, representando um avanço significativo nos estudos sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Estado de Mato Grosso do Sul. Esses resultados terão uma grande contribuição para a tomada de decisões relacionadas aos serviços ambientais e servirão como uma ferramenta de apoio para a gestão de políticas públicas.

5) REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, Ziyad Ahmad; PRAKASH, Satya. Modeling urban dynamics and carbon sequestration in Addis Ababa, Ethiopia, using satellite images. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 6, p. 1-8, 2021.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de2021-98899394>> Acesso em: 17 set. 2021.



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGeo

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”
24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. D.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, p. 277-290, 2010.

CONGALTON, R. G. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35–46, 1991.

CUNHA, Elias Rodrigues da et al. Mapping LULC types in the Cerrado-Atlantic Forest ecotone region using a Landsat time series and object-based image approach: A case study of the Prata River Basin, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 192, n. 2, p. 1-15, 2020.

FAN, Min; CHEN, Li. Spatial characteristics of land uses and ecological compensations based on payment for ecosystem services model from 2000 to 2015 in Sichuan Province, China. **Ecological informatics**, v. 50, p. 162-183, 2019.

FERNANDES, Milton Marques et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. **Land use policy**, v. 99, p. 104795, 2020.

FERNANDES, Milton Marques et al. Land use and land cover changes and carbon stock valuation in the São Francisco river basin, Brazil. **Environmental Challenges**, p. 100247, 2021.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GUERRA, Angélica et al. The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses. **Journal of environmental management**, v. 260, p. 110128, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/panorama>> Acesso em: 03 jan. 2022.

IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Eggleston S, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K (eds). IPCC RenovaBio National Greenhouse Gas Inventories Programme. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, p. 664, 2006.

LIANG, Xun et al. *Understanding the drivers of sustainable land expansion using a patch-generating land use simulation (PLUS) model: A case study in Wuhan, China*. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 85, p. 101569, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101569>



IV ENCONTRO REGIONAL EM COMEMORAÇÃO AO DIA DO GEÓGRAFO – ERCOGEO

“CÊNCIA, CONHECIMENTO E INFORMAÇÃO: A pesquisa científica, um instrumento essencial na formação de Geógrafos”

24 a 27 de maio de 2023 – Três Lagoas/MS

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>> Acesso em: 30 abr. 2022.

MARTINS, L. F. B. N. et al. Soil carbon stock in different uses in the southern cone of Mato Grosso do Sul. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 4, p. 86-94, 2020.

ONU. Assembleia Geral das Nações Unidas. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 15 set. 2021.

RICKE, Katharine et al. Country-level social cost of carbon. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 10, p. 895-900, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0282-y>

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 81-90, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2005.0016.0009. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 9 dez. 2021.

SILVA, J. S. V. et al. Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2011.

SOUZA JR, Carlos M. et al. *Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine*. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12172735>