

ANÁLISE MULTITEMPORAL DE MUDANÇAS PASSADAS E FUTURAS NA COBERTURA E USO DA TERRA EM UM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO

Liliane Moreira Nery¹

Pablo Sarricolea²

Darllan Collins da Cunha e Silva³

Análise dos impactos das mudanças

Resumo

Este estudo analisou a tendência multitemporal no uso e cobertura da terra (UCT) e modelou um cenário futuro de cobertura do solo para os anos de 2035 e 2049 em uma unidade de conservação do Estado de São Paulo. Utilizou-se um modelo de Rede Neural Artificial com Cadeias Markov através da ferramenta *Land Change Modeller (LCM)* do software TerrSet. A tendência espacial da mudança no UCT mostra a expansão de áreas construídas, culturas temporárias e silvicultura. A modelagem futura indica que essas expansões ocorreram em regiões onde ocorrem a maior preservação de área florestal e às margens de uma importante represa na região. Os resultados deste estudo podem ser usados por formuladores de políticas, planejadores urbanos e outras partes interessadas para futuras tomadas de decisão e revisão dos planos de manejo da unidade de conservação.

Palavras-chave: APA de Itupararanga; MapBiomas; TerrSet; Markov

INTRODUÇÃO

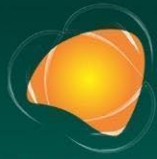
A dinâmica da mudança do uso do solo tem sido identificada como um dos principais motores da mudança global, resultando em alterações em processos que envolvem trocas entre a superfície da terra e a atmosfera, bem como processos biogeoquímicos, emissão de carbono, produtividade biológica e biodiversidade (Manushevich; Sarricolea; Galle, 2019).

¹ Doutoranda em Ciências Ambientais. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, liliane.nery@unesp.br.

² Prof. Dr. Universidad de Chile - Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Departamento de Geografía, psarricolea@uchilefau.cl

³ Prof. Dr. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba, darllan.collins@unesp.br

REALIZAÇÃO



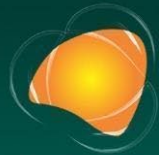
EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Alterações no uso e cobertura da terra (UCT) têm se tornado uma preocupação crescente em escalas regionais e globais, dadas os impactos ambientais que elas acarretam. O mapeamento e a compreensão espacial das mudanças no UCT desempenham um papel fundamental no monitoramento das dinâmicas de mudança, permitindo a comparação das distribuições de cobertura terrestre em diferentes períodos, dados cruciais para o planejamento, gestão e formulação de políticas de uso da terra (Koko et al., 2020).

A falta do planejamento do uso da terra resulta em conflitos entre diferentes setores ou no esgotamento dos recursos naturais, requerendo que decisões sejam tomadas com o envolvimento ativo da comunidade e diferentes partes interessadas, de forma que instrumentos de planejamento territorial adquiram uma função regulatória essencial para o ordenamento do território urbano e agrícola (Henríquez-Dole et al., 2018). Como as alterações na superfície terrestre são principalmente impulsionadas pela ação humana, políticas são necessárias para regular atividades econômicas (Manushevich; Sarricolea; Galle, 2019).

Cada vez mais a modelagem para a predição do uso da terra tem atraído considerável atenção da comunidade científica devido ao crescimento populacional e à urbanização global, procurando orientar e direcionar políticas públicas para um ordenamento territorial mais simétrico com a conservação dos recursos naturais e características locais. Estudos em diversas regiões têm utilizado uma variedade de modelos e algoritmos para prever o UCT e estudar seus efeitos no ambiente, assim como as variáveis que impulsionam essas mudanças.

O monitoramento da dinâmica e das mudanças em áreas protegidas é crítico para fins científicos e políticos, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais (Neves et al., 2020), uma vez que as mudanças nessas áreas apresentam desafios na tomada de decisões e na formulação de políticas públicas, particularmente no que diz respeito aos objetivos da Agenda 2030 para o uso sustentável dos ecossistemas e a adaptação às mudanças climáticas. Portanto, este trabalho analisou a tendência multitemporal no UCT de uma unidade de conservação na Mata Atlântica e modelou um cenário futuro de cobertura do solo para os anos de 2035 e 2049.

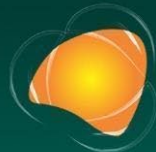


METODOLOGIA

A área de estudo se refere à Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga (Figura 1) localizada a aproximadamente 40 km da capital paulista, no Bioma Mata Atlântica, com aproximadamente 929 km², localizada entre os paralelos de 23° 45' e 23° 35' de latitude S; 47° 21' e 46° 57' longitude O. Ela foi instituída em 1998 através da Lei Estadual nº 10.100, com o intuito de minimizar as pressões exercidas em seus recursos ambientais, principalmente devido a expansão de loteamentos em áreas de alta fragilidade ambiental, do uso intenso do solo para agricultura e do uso indiscriminado de agrotóxicos (Fundação Florestal, 2010).

A APA se situa no domínio das Florestas Ombrófilas Densas do bioma Atlântico, contudo, boa parte de sua cobertura vegetal original foi removida, sendo composta principalmente por florestas secundárias (Fundação Florestal, 2010) (Figura 1). O uso agrícola na região é intensivo, composto principalmente por pequenos produtores rurais que utilizam a terra para a produção olerícola e horticultura (Fundação Florestal, 2010; Silva et al., 2019). Além do uso agrícola, tem sido observado o aumento de áreas ocupadas por pequenas chácaras e casas de veraneio, principalmente às margens da Represa de Itupararanga (Simonetti et al., 2019).

O desenvolvimento da pesquisa (Figura 2), consistiu na compreensão das alterações no UCT da APA através de uma série histórica ao longo de 35 anos (de 1986 a 2021) utilizando dados disponíveis da oitava coleção do Programa MapBiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/>), identificando as principais mudanças que ocorreram neste período para o estabelecimento dos principais modelos de transição na estimativa do uso futuro do UCT em 2035 e 2045 através de Rede Neural Artificial com Cadeias Markov.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

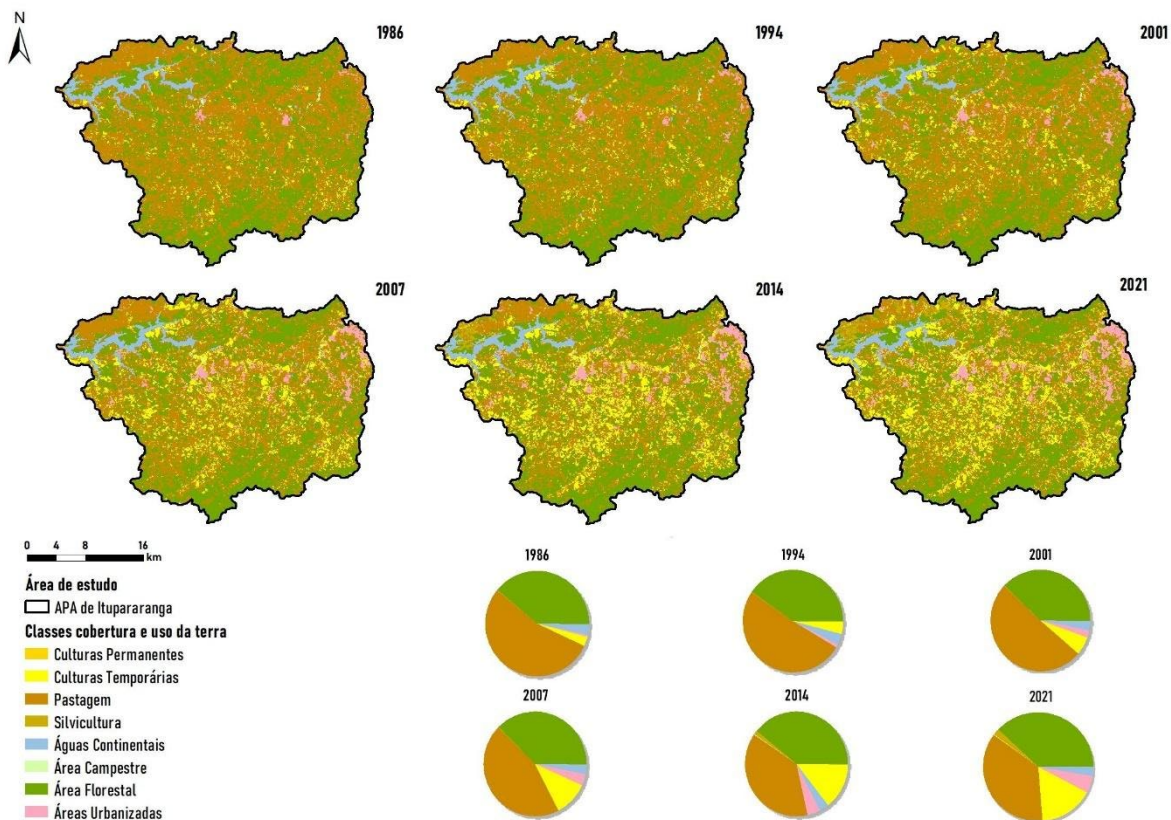


Figura 1: Histórico do uso e ocupação da terra na APA de Itupararanga conforme dados MapBiomias.

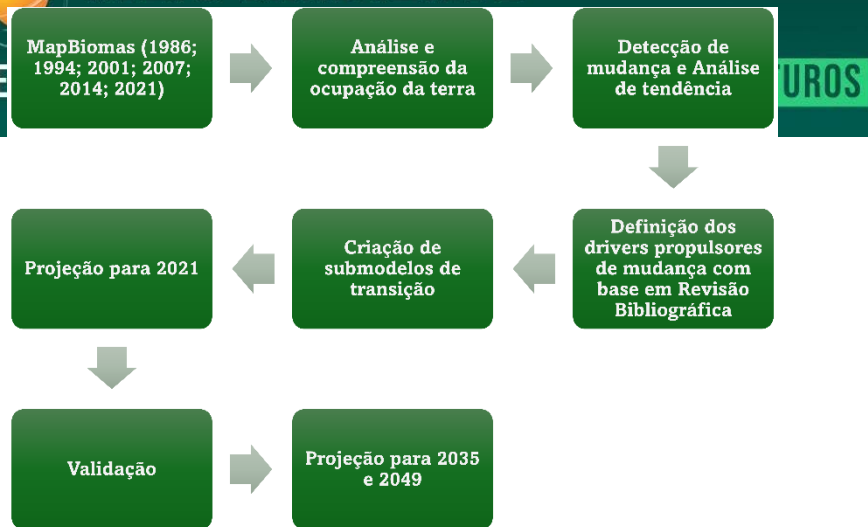


Figura 2: Fluxo de trabalho para projeção do uso e ocupação da terra na APA de Itupararanga.

O Modelo Markoviano utilizado neste estudo é parte integrante do *software* TerrSet, que utiliza mudanças temporais das classes de UCT para criar matrizes de probabilidade de transição e mapas potenciais de transição (Eastman, 2016). A projeção futura do UCT é realizada considerando forças propulsoras de mudanças, denominadas *drivers* (Eastman, 2016). Com base em uma Revisão Bibliográfica, foram definidos seis drivers para esse estudo (Tabela 1), os quais foram utilizados para criar quatro sub modelos: Expansão agrícola; Expansão Urbana; Desmatamento; e Reflorestamento.

Driver	Autores
Distância de áreas urbanas, cidades ou povoados	Maviza e Ahmed (2020); Leta et al. (2021); Azari et al. (2022); Shrestha et al. (2022); Singh et al. (2022); Beshir et al. (2023); Masavald et al. (2023)
Distância de corpos hídricos, córregos ou redes de drenagem	Leta et al. (2021); Azari et al. (2022); Shrestha et al. (2022); Beshir et al. (2023)
Distância do sistema viário	Maviza e Ahmed (2020); Azari et al. (2022); Shrestha et al. (2022); Singh et al. (2022); Beshir et al. (2023); Masavald et al. (2023)
Elevação	Maviza e Ahmed (2020); Leta et al. (2021); Azari et al. (2022); Shrestha et al. (2022); Singh et al. (2022); Beshir et al. (2023); Masavald et al. (2023)
Declividade	Maviza e Ahmed (2020); Leta et al. (2021); Azari et al. (2022); Shrestha et al. (2022); Singh et al. (2022); Beshir et al. (2023); Masavald et al. (2023)
Probabilidade de evidência	Beshir et al. (2023); Shrestha et al. (2022); Singh (2022)



EXTREMOS CLIMÁTICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que em 1986 a APA era composta predominantemente por pastagens (53,95%), e em 2021 a UC passa a ser majoritariamente composta pela floresta (37,89%), porém, somando-se todos os usos antrópicos da terra, atualmente (2021) 59,16% da área em estudo é utilizada para a produção agropecuária e uso urbano. Em 1986, essas atividades correspondiam a 57,95% da área da APA. As principais mudanças observadas na região foram:

1. A área florestal sendo convertida em pastagens em todos os anos, com o destaque para o período de 2007 a 2021, no qual houve um aumento na conversão da vegetação natural pelas culturas temporárias.
2. Conversão de pastagens para áreas urbanas, silvicultura e culturas temporárias, principalmente a partir de 2014;
3. Expansão das áreas urbanas em substituição às pastagens e lavouras temporárias.

Atualmente, a pressão antrópica sobre a Mata Atlântica é resultado de milhares de anos de interação entre homem e natureza, de forma que atualmente 70% da população brasileira e 80% do PIB do Brasil estão concentrados nos limites desse bioma (Solórzano et al., 2021). Dentro desse contexto, a mudança de UCT observada na APA de Itupararanga corresponde com observações feitas em todo o bioma Mata Atlântica (Silveira et al., 2020; Carlucci et al., 2021; Lira et al., 2021).

Os mapas de UCT simulados de 2035 e 2046 (Figura 3) mostraram uma continuação dessa tendência (Tabela 3), onde a área construída é estimada em aumentar em 13,90 km² (12,41 km²), as terras agrícolas são estimadas em aumentar em 51,17 km² (18,03 km²) e a silvicultura é estimada aumentar em 14,06 km² (6,07 km²), levando a uma diminuição da vegetação natural em 26,81 km² (15,67 km²) para o período de 2021 a 2035 (2035 a 2046).

Os resultados de concordância do Índice Kappa para o mapa de UCT de 2021 e o real do mesmo ano mostraram que houve um nível de concordância e de precisão aceitável. Os valores 0,7561, 0,7502, 0,7502 e 0,7104 foram observados para Kno (*Kappa index agreement for no information*), Klocation



EXTREMOS CLIMÁTICOS, IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

A tendência espacial da mudança na cobertura de terra (Figura 3) mostra áreas construídas localizadas principalmente ao Norte da APA de Itupararanga e às margens da Represa, onde atualmente a concentração urbana é menos densa, e o avanço de áreas agrícolas e de silvicultura mais ao Sul da APA, região onde atualmente há a maior área florestal preservada.

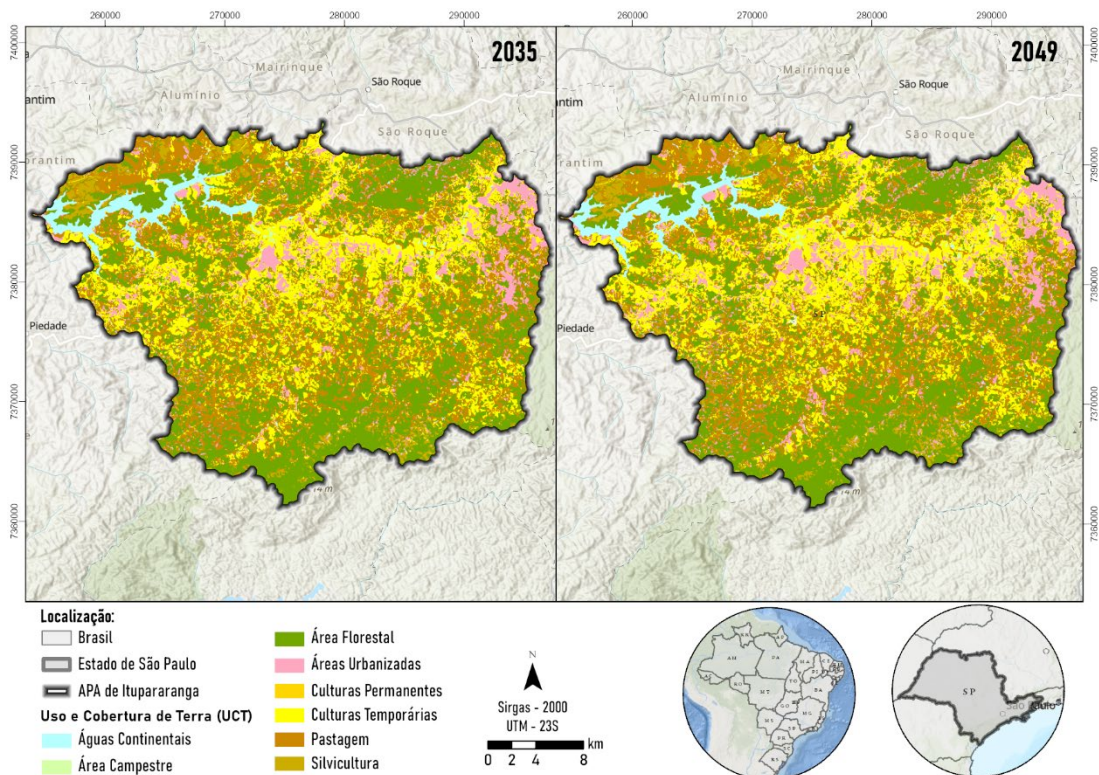


Figura 3: Mapa de uso e cobertura da terra da APA de Itupararanga simulado para os anos de 2035 e 2049.

2021 -2035 2035-2049



EXTREMOS

FUTUROS

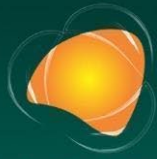
Classe de uso e cobertura da terra	km ²	%	km ²	%
Águas continentais	-0,01	0,01	-0,01	0,00
Área campestre	-0,03	0,00	0,00	0,00
Área florestal	-26,81	-2,69	-15,67	-1,67
Áreas urbanizadas	13,90	1,51	12,41	1,33
Culturas permanentes	0,00	0,00	0,00	0,00
Culturas temporárias	51,17	5,56	18,03	1,94
Pastagem	-56,88	-5,91	-21,04	-2,25
Silvicultura	14,06	1,52	6,07	0,65

Tabela 2: Análise da expansão e diminuição dos usos e cobertura da terra da APA de Itupararanga expressos em área (km²) e proporção (%).

O avanço de manchas urbanas em uma região majoritariamente agrícola representa uma fragmentação social e física da paisagem, do ponto de vista de Henríquez (2014), que também destaca os impactos dessa fragmentação sobre a sustentabilidade das cidades, uma vez que essa fragmentação propicia um maior uso de automóveis para o deslocamento à grandes centros urbanos e áreas de serviço, o isolamento de grupos sociais mais vulneráveis e um maior custo para atender bairros mais distante com serviços básicos.

No contexto da APA de Itupararanga, pode-se esperar o aumento da ocorrência de episódios de eutrofização da Represa de Itupararanga, em virtude do possível aumento das ocupações de suas margens do histórico de eventos reportados em diferentes estudos (Frascareli et al., 2015; Beghelli et al., 2016; Leite et al., 2018), aumento nas emissões atmosféricas, visto a distância desses novos assentamentos urbanos de grandes centros como Cotia e Vargem Grande Paulista, que por sua vez contribuem para as mudanças climáticas.

A alteração do equilíbrio energético entre superfície-atmosfera também é uma consequência, pois a transformação de uma área majoritariamente coberta por vegetação para áreas construídas que possuem propriedades radiativas e térmicas (asfalto e concreto) são capazes de alterar o fluxo energético da região (Nery et al., 2024), aumentando a temperatura superficial (Moura et al., 2021) e a geração de ilhas de calor, impactando na evapotranspiração e na disponibilidade hídrica (Machado et



al., 2020).

EXTREMOS CLIMÁTICOS, IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

O avanço das áreas agrícolas foi observado principalmente na região correspondente ao município de Ibiúna, em todo o histórico de ocupação (Figura 1) e nas projeções (Figura 3). Áreas agrícolas quando incorretamente manejadas, acima de sua capacidade de suporte, estão altamente suscetíveis à degradação do solo (Lepsch, 2010). Dada a diversidade de condições das atividades agrícolas, os autores recomendam a adoção de práticas e tecnologias agrícolas sustentáveis, que podem auxiliar na diversificação da produção ao mesmo tempo que reduzem impactos ambientais (Silveira et al.; 2020; Nery et al., 2023).

O avanço agrícola na região é fato e importante para a economia local, portanto, políticas e incentivos adequados devem ser adotados como estratégias para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis (Souza et al., 2021; Vinholis et al., 2021 Nery et al., 2023). Tais políticas e

incentivos requerem uma abordagem integrada que considere as complexidades dos sistemas agrícolas e as necessidades das comunidades rurais locais (Nery et al., 2023), não excluindo a necessidade de considerá-las também em uma possível revisão do Plano de Manejo da APA de Itupararanga, que considere essas mudanças e seus impactos sobre o clima, grupos socialmente vulneráveis, disponibilidade hídrica e preservação da biodiversidade.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos deste estudo mostram que, considerando a tendência de uso e ocupação da terra na APA de Itupararanga, o desenvolvimento agrícola e a urbanização na região irão se expandir à medida que a vegetação será perdida até 2049. Portanto, as informações obtidas podem ajudar os governos municipais e os órgãos gestores da APA de Itupararanga na formulação de políticas, atualização de planos diretores e plano de manejo, para melhor gerenciar o desenvolvimento futuro dos municípios e comunidades integrantes da APA de Itupararanga.

Além disso, os resultados deste estudo podem ser incorporados em outros estudos, como clima e hidrologia, onde os efeitos da mudança UCT são amplamente discutidos e conhecidos pela comunidade científica. Algumas limitações são observadas, como o fato do modelo utilizado não ser



sensível às políticas e não considerar dados socioeconômicos. Para superar esta limitação, sugere-se que estudos futuros integrem o modelo proposto com novos submodelos, que incorporem tais fatores.

EXTREMOS CLIMÁTICOS, IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), ao Programa Escala Estudantil da Associação de Universidades do Grupo Montevideu (AUGM) pelas bolsas concedidas durante a execução desse estudo, e à Universidade do Chile (UCHile) pela oportunidade de expansão acadêmica e intercâmbio.

REFERÊNCIAS

- AZARI, M.; BILLA, L.; CHAN, A. Multi-Temporal Analysis of Past and Future Land Cover Change in The Highly Urbanized State of Selangor, Malaysia. **Ecological Processes**, v. 11, n. 2, p. 1-15. 2022.
- BESHIR, S.; MOGES, A.; DANANTO, M. Trend analysis, past dynamics and future prediction of land use and land cover change in upper Wabe-Shebele river basin. **Heliyon**, v. 9, n. 9, p. e19128, 2023.
- BEGHELLI, F. G. et al. Trophic state evolution over 15 years in a tropical reservoir with low nitrogen concentrations and cyanobacteria predominance. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 1-15, 2016.
- CARLUCCI, M. B.; MARCILLIO-SILVA, V.; TOREZAN, J. M. The Southern Atlantic Forest: Use, degradation, and perspectives for conservation. In: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Springer Nature: Switzerland, 2021, p. 91-11.
- EASTMAN, J. R. **IDRISI Terrset manual**. Clark Labs-Clark University: Worcester, 2016.
- FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo da APA de Itupararanga**. São Paulo. 2010. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-itupararanga/>. Acesso em: 10 ago. 2022.
- FRASCARELI, D. et al. Spatial and seasonal heterogeneity of limnological variables in Itupararanga reservoir associated with the land use in the Bacia do Alto Sorocaba-SP. **Ambiente e Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 4, p. 770-781, 2015.
- HENRÍQUEZ, C. **Modelando el crecimiento de ciudades medias: Hacia un desarrollo urbano sustentable**. Ediciones UC: Santiago, 2014.
- HENRÍQUEZ-DOLE, L. et al. Integrating strategic land use planning in the construction of future land use



scenarios and its performance: The Maipo River Basin, Chile. **Land Use Policy**, v. 78, p. 353-366, 2018.

KOKO, A. F. et al. Monitoring and predicting spatio-temporal land use/land cover changes in Zaria City, Nigeria, through an integrated cellular automata and markov chain model (CA-Markov). **Sustainability**, v. 12, n. 24, p. 10452, 2020.

LEITE, A. R. C.; BIAGIONI, R. C.; SMITH, W. S. Diversidade de cianobactérias em mananciais da bacia do rio Sorocaba, com ênfase nas represas de Itupararanga e Ipaneminha, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 16, n. 1, 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de textos, 2010.

LETA, M. K.; DEMISSIE, T. A.; TRÄNCKNER, J. Modeling and prediction of land use land cover change dynamics based on land change modeler (Lcm) in nashe watershed, upper blue Nile basin, Ethiopia. **Sustainability**, v. 13, n. 7, p. 3740, 2021.

LIRA, P. K.; PORTELA, R. C. Q.; TAMBOSI, L. R. Land-cover changes and an uncertain future: Will the Brazilian Atlantic forest lose the chance to become a hopespot?. In: MARQUES, M. C. M.; GRELLER, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Springer Nature: Switzerland, 2021, p. 91-11.

MACHADO, N. G. et al.. Impact of changes in surface cover on energy balance in a tropical city by remote sensing: A study case in Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100373, 2020.

MANUSCHEVICH, D.; SARRICOLEA, P.; GALLEGUILLOS, M. Integrating socio-ecological dynamics into land use policy outcomes: A spatial scenario approach for native forest conservation in south-central Chile. **Land use policy**, v. 84, p. 31-42, 2019.

MASALVAD, S. S. et al. Application of geospatial technology for the land use/land cover change assessment and future change predictions using CA Markov chain model. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-26, 2023.

MAVIZA, A.; AHMED, F. Analysis of past and future multi-temporal land use and land cover changes in the semi-arid Upper-Mzingwane sub-catchment in the Matabeleland south province of Zimbabwe. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 14, p. 5206-5227, 2020.

MOURA, A. T. et al. **Análise espaço-temporal da temperatura superficial da APA de Itupararanga**. Livro de memórias do Sustentare & WIPIS, 2023.

NERY, L.M.; SILVA, D. C. C.; SABONARO, D. Z. Agriculture technology transfer: A multicriteria analysis for decision making. **Environment, Development and Sustainability**. v. 26, p. 15515-15533, 2024.

NERY, L. M. et al. Análise da radiação líquida em uma unidade de conservação. Livro de memórias do Sustentare & WIPIS, 2023.

NEVES, A. K. et al.. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, v. 50, p. 170-182, 2020.

SILVA, D. C. C. et al. Metodologia para análise socioambiental de domicílios presentes em bacias hidrográficas. **Holos**, 35, p. e556, 2019.



EXTREMOS CLIMATICOS: IMPACTOS ATUAIS E RISCOS FUTUROS

SIMONETTI, V. C. et al. Water quality indices as a tool for evaluating water quality and effects of land use in a tropical catchment. *International Journal of River Basin Management*, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2021.

SHRESTHA, Megha et al. Mapping and predicting land cover changes of small and medium size cities in Alabama using machine learning techniques. *Remote Sensing*, v. 15, n. 1, p. 106, 2022.

SILVEIRA, J. G. et al.. Land use, land cover change and sustainable intensification of agriculture and livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. *Sustainability*, v. 14, p. 2563, 2022.

SINGH, B.; VENKATRAMANAN, V.; DESHMUKH, B. Monitoring of land use land cover dynamics and prediction of urban growth using Land Change Modeler in Delhi and its environs, India. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 29, n. 47, p. 71534-71554, 2022.

SOLÓRZANO, A.; BRASIL, L. S. C. A.; OLIVEIRA, R. R. The Atlantic Forest ecological history: from pre-history to the Anthropocene. In: MARQUES, M. C. M.; GRELE, C. E. V. (Eds.). **The Atlantic Forest: History, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest**. Springer Nature: Switzerland, 2021, p. 91-11.

SOUZA, H. M. et al. Determinants of adoption of integrated production systems by cattle farmers in the state of Sao Paulo, Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 95, p. 103–117, 2021.

VINHOLIS, M. M. B. et al. The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian low carbon agriculture plan. *Journal of Cleaner Production*, v. 280, p. 124334, 2021.