

## ANÁLISE DE TENDÊNCIAS DO USO E COBERTURA DO SOLO NO ESTADO DE SÃO PAULO (1985–2024)

Iulo Pessotti Moro<sup>1</sup>, Fernanda Lyra<sup>1</sup>, Mariza Pereira de Oliveira Roza<sup>1</sup>, Elaine Cordeiro dos Santos<sup>1</sup>, Eloisa Bueno da Silva Sena<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Espírito Santo/Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Avenida Governador Lindemberg, 316, Centro - 29550-000 - Jerônimo Monteiro-ES, Brasil, iulo.floresta@gmail.com, lyraafer@gmail.com, marizapereiradeoliveira@gmail.com, elainecordeiro122@gmail.com, eloisasena2@gmail.com.

### Resumo

Este artigo avalia mudanças no uso e cobertura do solo no estado de São Paulo (1985–2024) e suas implicações socioambientais. Objetivou-se quantificar tendências nas classes silvicultura, cafeicultura, pastagens e áreas urbanizadas. Utilizaram-se mapas anuais do MapBiomas Coleção 10 e séries temporais por classe; aplicaram-se o teste de Pettitt para detecção de rupturas e o teste de Mann–Kendall para tendências. Os resultados indicam expansão contínua da silvicultura ( $+213,4 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ) e das áreas urbanizadas ( $+130,21 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ); a cafeicultura cresceu em média  $+26,85 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ , com ruptura em 2005, seguida de estabilização em patamar elevado; as pastagens diminuíram ( $-2.031,28 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ ), sugerindo substituição de uso e/ou intensificação pecuária. Conclui-se que o estado de São Paulo apresenta reconfiguração territorial marcada por arborização produtiva e urbanização crescentes, retração de pastagens e dinâmica cafeeira não linear. O monitoramento sistemático via MapBiomas subsidia o planejamento territorial e políticas públicas sustentáveis.

**Palavras-chave:** Mann-Kendall; Pettitt; MapBiomas

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias – Engenharia Florestal

### Introdução

A dinâmica do uso e cobertura da terra reflete diretamente os processos econômicos, sociais e ambientais de uma determinada região (Mora et al., 2020). No estado de São Paulo, cuja atividade agrícola, industrial e densidade populacional são expressivas, o cenário de transformações territoriais é particularmente complexo. Atividades como silvicultura e cafeicultura, de importância histórica para a economia paulista, estão sujeitas a variações de mercado, políticas públicas e pressões ambientais (Silveira et al., 2022). Simultaneamente, a expansão urbana desordenada e as flutuações nos corpos d'água demandam respostas integradas em gestão territorial, hídrica e ambiental (Simoès et al., 2020).

Sendo assim, compreender essas transformações ao longo do tempo é essencial para subsidiar políticas públicas e estratégias de desenvolvimento sustentável. Para garantir uma análise metódica e confiável, recomenda-se o uso de bases de dados padronizadas e de alta qualidade, como a plataforma MapBiomas, que oferece séries históricas anuais de uso e cobertura da terra desde 1985, com procedimentos automatizados e replicáveis via Google Earth Engine (MapBiomas, 2023).

As séries de dados de uso e cobertura podem ser influenciadas por fatores como inconsistências nos métodos de classificação entre coleções, falhas na calibração de sensores ou alterações nas definições de classes temporais, comprometendo sua representatividade (Simoès et al., 2020). Nesses casos, aplicar testes de homogeneidade, como o teste de Pettitt, é uma prática recomendada para detectar descontinuidades abruptas (Pettitt, 1979). Após confirmar a homogeneidade, é possível recorrer a testes de tendência, como o Mann-Kendall, para verificar aumentos, reduções ou estabilidade ao longo do tempo, sem presunção sobre a distribuição dos dados (Kendall, 1975; Mann, 1945).

Diante desse contexto, compreender os padrões espaço-temporais das mudanças no uso e cobertura da terra no estado de São Paulo torna-se altamente relevante, sobretudo frente à crescente necessidade de uma gestão ambiental integrada, à garantia da segurança hídrica e ao fortalecimento da resiliência territorial diante das mudanças climáticas. Analisar essas transformações permite

identificar tendências e rupturas em áreas críticas, oferecendo subsídios concretos para o planejamento territorial e políticas públicas sustentáveis (Silveira et al., 2022).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar as tendências de uso e cobertura do solo no estado de São Paulo entre 1985 e 2024, com foco nas classes de silvicultura, cafeicultura, pastagens e áreas urbanizadas, utilizando dados da plataforma MapBiomas e métodos estatísticos de tendência.

## Metodologia

A área de estudo corresponde ao estado de São Paulo, localizado na região Sudeste do Brasil, possui uma área de 248.219 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Foram utilizados os mapas anuais de Uso e Cobertura da Terra proveniente do MapBiomas – Coleção 10, no período de 1985 a 2024. (disponível em [brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas](http://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas)). A base, composta por rasters categóricos de uma banda, foi organizada por ano e classe de uso e cobertura, a partir da qual foram quantificadas a extensão de cada classe anualmente (km<sup>2</sup>), resultando em séries temporais por classe de uso e cobertura do solo ao longo do período.

As análises estatísticas de mudança e tendência foram conduzidas por meio do teste de Pettitt e do teste de Mann–Kendall para avaliar a evolução das áreas com as classes de uso: silvicultura, cafeicultura, pastagem e área urbanizada.

O teste de Pettitt (1979) é um método não-paramétrico que verifica se duas amostras pertencem à mesma população, usando a ordem crescente dos elementos da série. Segundo Penereiro e Ferreira (2012), sua estatística conta quantas vezes um valor da primeira amostra supera um da segunda (Equações 1 e 2).

Neste contexto, empregou-se o teste de Pettitt para detectar mudanças abruptas na série temporal dos dados analisados. Esse teste estatístico permite identificar o ponto de ruptura, caracterizando a data na qual ocorre uma mudança significativa no comportamento da variável estudada (Moro *et al.*, 2025). Além disso, o teste de Pettitt possibilita a determinação da média dos valores observados antes e depois do ponto de ruptura, fornecendo uma análise detalhada sobre as tendências e alterações ao longo do período avaliado.

$$K_t = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (1)$$

Em que,

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (2)$$

Considerando que:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

Para a verificação da ocorrência de tendências estatisticamente significativas nas séries de dados, utilizou-se o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall (MK) (Kendall, 1975; Mann, 1945), em que a estatística S do teste é dada pela Equação 3.

Esse teste permite identificar se a série apresenta tendência de aumento, diminuição ou se não há tendência estatisticamente significativa ao longo do período analisado.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Em que: x são os valores da série; i e j são os índices de tempo; n é o número de elementos da série;  $\text{sgn}(x_j - x_i)$  é dado pela equação 4.

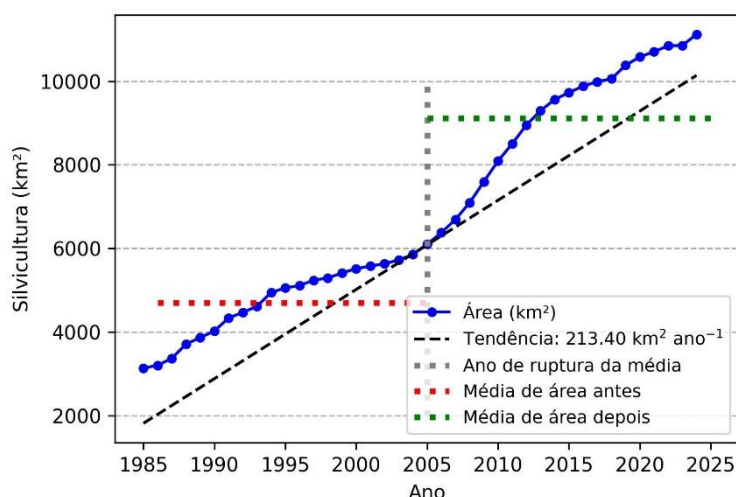
# A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

## Resultados

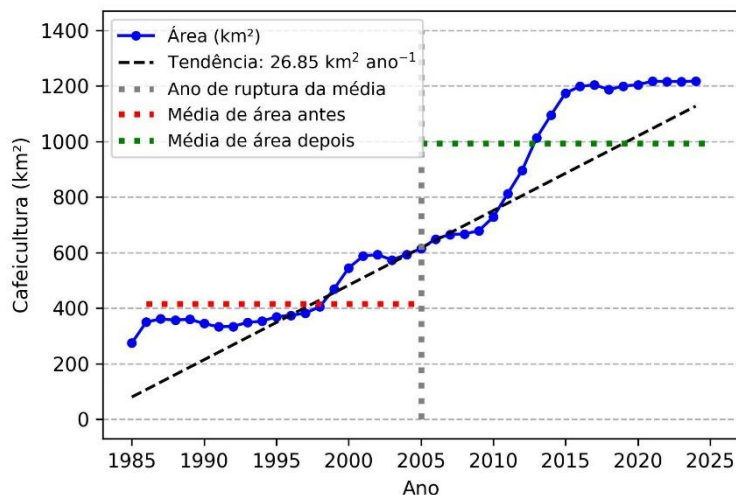
A análise das séries temporais revelou mudanças expressivas no uso e cobertura do solo no estado de São Paulo entre 1985 e 2023. A silvicultura apresentou crescimento contínuo, especialmente a partir de 2005 (Figura 2), com uma tendência de expansão de 213,4 km<sup>2</sup> por ano.

Figura 2 – Evolução da área de silvicultura no estado de São Paulo ao longo dos anos de 1985 a 2024



A Figura 3 mostra uma tendência geral de crescimento na área de cafeicultura no estado de São Paulo ao longo de todo o período, com um aumento médio de 26,85 km<sup>2</sup> por ano. No entanto, esse crescimento não foi linear. Houve um ponto de ruptura em 2005, que deu início a uma década de expansão acelerada, seguida por uma estabilização da área plantada em um patamar muito superior ao do período inicial.

Figura 3 – Evolução da área de cafeicultura no estado de São Paulo ao longo dos anos de 1985 a 2024



## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

As áreas de pastagem exibiram tendência decrescente ao longo de todo o período (Figura 4), indicando substituição por outros usos ou intensificação da produção pecuária, com uma redução de 2.031,28 km<sup>2</sup> por ano. Em contrapartida, as áreas urbanizadas cresceram 130,21 km<sup>2</sup> por ano, de forma consistente e acelerada desde 1985 (Figura 5), acompanhando a dinâmica demográfica e a expansão das cidades paulistas.

Figura 4 – Evolução da área de pastagem no estado de São Paulo ao longo dos anos de 1985 a 2024

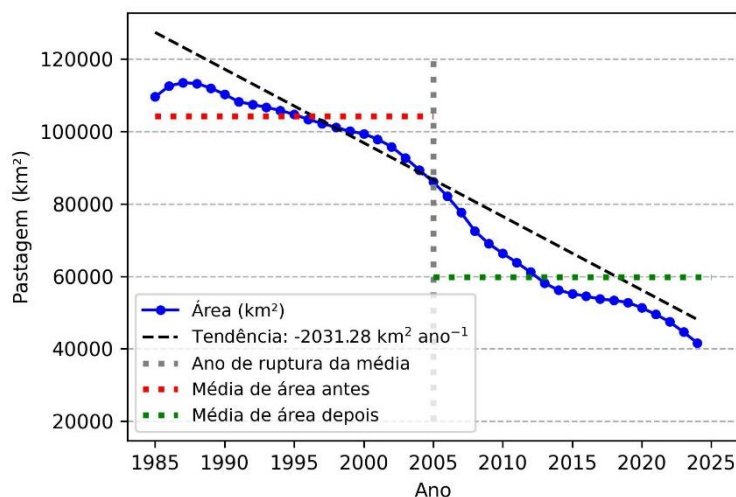
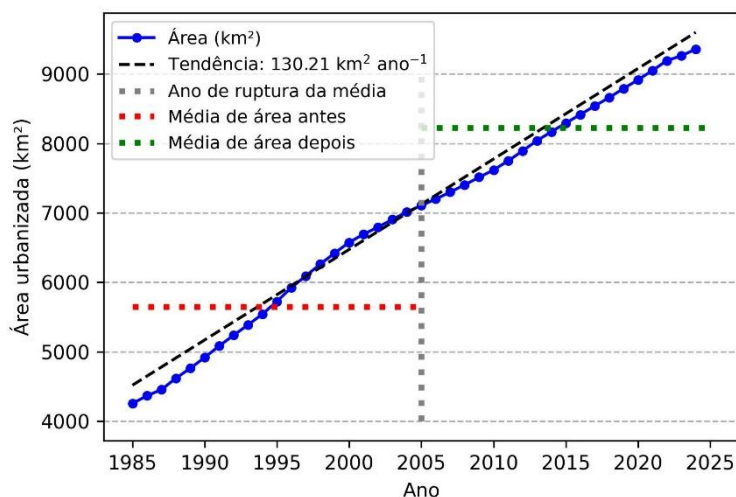


Figura 5 – Evolução da área urbanizada no estado de São Paulo ao longo dos anos de 1985 a 2024



### Discussão

Os resultados evidenciam transformações significativas no uso e cobertura da terra no estado de São Paulo entre 1985 e 2024, refletindo mudanças estruturais nos sistemas produtivos e no processo de urbanização. A aplicação do teste de tendência e de detecção de pontos de mudança permitiu identificar não apenas a direção das variações, mas também os momentos de ruptura que marcam fases distintas na ocupação territorial.

A silvicultura apresentou tendência positiva expressiva ao longo do período, com taxa média de crescimento de aproximadamente 213 km<sup>2</sup> ao ano. O ponto de inflexão em meados dos anos 2000 coincide com o fortalecimento da cadeia de papel e celulose no Brasil, em especial no interior paulista, onde a demanda por madeira de reflorestamento aumentou substancialmente. A expansão acelerada a partir desse período pode ser associada tanto a incentivos econômicos quanto ao avanço tecnológico, que ampliou a produtividade e reduziu a pressão sobre áreas de vegetação nativa (Balieiro et al., 2020).

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Estudos como o do Campos (2017) reforça ainda mais essa ideia, demonstrando que o estado de São Paulo se tornou um dos principais polos nacionais de silvicultura.

A cafeicultura, por sua vez, apresentou crescimento mais modesto, com incremento médio anual de cerca de 26 km<sup>2</sup>. O ponto de mudança também ocorreu por volta de 2005, indicando uma retomada da cultura após um período de estagnação. A expansão observada pode estar relacionada ao reposicionamento da cafeicultura paulista em mercados de qualidade e à reocupação de áreas mais favoráveis ao cultivo, sobretudo em regiões de altitude média. Ainda assim, a tendência menos acentuada em comparação à silvicultura reflete o deslocamento da produção de café para estados como Minas Gerais, que se consolidou como principal produtor nacional (Broggio e Droulers, 2007).

O comportamento das pastagens revelou tendência fortemente negativa, com uma redução média anual superior a 2.000 km<sup>2</sup>. A ruptura no início da década de 2000 indica uma mudança estrutural na dinâmica do uso da terra. Estudos como o Trevisan et al. (2019) aponta esse declínio como reflexo dos processos de modernização da pecuária, que passou a demandar menos área devido à intensificação produtiva, ao mesmo tempo em que pressões econômicas e ambientais favoreceram a diversificação de usos. O recuo das pastagens é, portanto, um indicativo da transição de São Paulo para uma matriz territorial mais complexa e menos dependente da pecuária extensiva.

As áreas urbanizadas apresentaram trajetória de crescimento consistente, com taxa média anual de 130 km<sup>2</sup>. A ruptura também se dá em torno de 2005, período associado ao fortalecimento das dinâmicas urbanas em função do crescimento populacional, da ampliação de infraestrutura e da expansão de polos industriais e logísticos. O aumento das áreas urbanas reforça a necessidade de políticas públicas voltadas ao planejamento territorial como destaca Proença e Santos Jr. (2020), pois a urbanização acelerada tende a gerar pressões sobre os recursos naturais, ampliando riscos relacionados à impermeabilização do solo, enchentes e conflitos no uso da terra.

A análise integrada dos resultados sugere que o período pós-2005 representa uma transição marcante na configuração do território paulista. Enquanto silvicultura e áreas urbanizadas cresceram de forma acelerada, pastagens cederam espaço de maneira igualmente intensa. A cafeicultura, embora apresente expansão, manteve um papel secundário em relação às demais classes. Esse rearranjo está alinhado com a lógica econômica do estado, caracterizada pela industrialização, pela diversificação da base agrícola e pela intensificação dos processos de urbanização.

Em termos ambientais e de planejamento, os resultados indicam desafios e oportunidades. A redução das pastagens pode aliviar pressões sobre áreas degradadas, mas a expansão urbana exige maior controle para mitigar impactos negativos. Já a silvicultura, embora desempenhe papel importante na produção de biomassa e na captura de carbono, deve ser monitorada quanto à substituição de ecossistemas nativos. Assim, compreender as tendências detectadas é essencial para orientar estratégias de manejo territorial mais sustentáveis e integradas, capazes de conciliar desenvolvimento econômico e conservação ambiental.

### Conclusão

O estudo revelou que, entre 1985 e 2024, o estado de São Paulo passou por mudanças significativas no uso e cobertura da terra, com destaque para o crescimento da silvicultura e áreas urbanizadas, a redução das pastagens e a instabilidade da cafeicultura. Esses resultados evidenciam o papel central do monitoramento contínuo por meio de plataformas como o MapBiomas para compreender as transformações territoriais e orientar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

### Referências

BALIEIRO, F. DE C.; MORAES, L. F. D. DE; PRADO, R. B.; MOURA, C. J. R. DE; SANTOS, F. M.; PEREIRA, A. P. DE A. Ecosystem Services in Eucalyptus Planted Forests and Mixed and Multifunctional Planted Forests. In: Mixed Plantations of Eucalyptus and Leguminous Trees. **Springer International Publishing**, 2020. p. 193–219.

BROGGIO, C.; DROULERS, M. Stratégies caféières du Brésil sur le marché mondial. **Études rurales**, n. 180, p. 213–228, 30 nov. 2007.

## A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

CAMPOS, A. R. Análise espaço-temporal da expansão dos plantios florestais comerciais no Brasil sob a condição de minimização de impactos negativos e potenciais conflitos. **Revista Geografias**, p. 8–22, 20 fev. 2017.

KENDALL, M. G. **Rank correlation methods**. 4. ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245, jul. 1945.

MAPBIOMAS. MapBiomias Brasil. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 4 jun. 2024.

MAPBIOMAS. MapBiomias Brasil. 2023. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/>>. Acesso em: 4 jun. 2024.

MORA, O. *et al.* Exploring the future of land use and food security: A new set of global scenarios. **PLOS ONE**, v. 15, n. 7, p. e0235597, 1 jul. 2020.

MORO, I. P.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Tendências em séries temporais meteorológicas e seus impactos na evapotranspiração de referência diária. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 36, p. 202–224, 4 fev. 2025.  
<https://doi.org/10.55761/abclima.v36i21.19077>

PENEREIRO, J. C.; FERREIRA, D. L. Testes estatísticos e questões ambientais no ensino de engenharia: uma aplicação em climatologia. **Revista de ensino de engenharia**, v. 31, n. 2, p. 25–44, 2012. <http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/126>

PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126, 1979. <https://doi.org/10.2307/2346729>

PROENÇA, A. D.; SANTOS JR., W. R. DOS. Transformações no planejamento urbano e regional no estado de São Paulo: dos polos regionais aos vetores de desenvolvimento macrometropolitanos. XII Seminário Internacional de Investigación en Urbanismo, São Paulo-Lisboa, 2020. Anais...Lisboa: Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa, jun. 2020. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/2117/336380>>

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, n. 5, p. 2563, 23 fev. 2022.

SIMÕES, R.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; MACIEL, A.; SANTOS, L.; ANDRADE, P. R.; SÁNCHEZ, A.; FERREIRA, K.; CARVALHO, A. Land use and cover maps for Mato Grosso State in Brazil from 2001 to 2017. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 1–10, 27 jan. 2020.

TREVISAN, D. P.; MELO, B. M. DE; MELO, R. M. DE; MOSCHINI, L. E. Análise das mudanças do uso e cobertura da terra entre 1988 e 2017 no município de Ibaté-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 7, p. 2216–2228, 14 jan. 2019.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.