

Relatório Final: Avaliação dos Impactos Socioeconômicos do Desmatamento no Estado do Pará (ZETTALAB 2025)

Marco Antônio Magalhães

Git (dados): <https://github.com/lieko0/zetta-lab-dados-d2>

Colab (análise+dashboard simples):

https://colab.research.google.com/drive/1SCYT-tq_MWr8F8GGfUU0akFmhMJvQ4N_?usp=sharing

Sumário Executivo

Este estudo analisou a relação entre desmatamento e desenvolvimento socioeconômico em 138 municípios do estado do Pará durante o período de 2011-2021. **Os resultados demonstram que o desmatamento não se traduz em melhorias socioeconômicas significativas**, apresentando uma correlação negativa fraca (-0.017) com o PIB per capita, corroborando evidências científicas de que municípios criados após 1970 não apresentam diferença significativa de desempenho comparados aos mais antigos (Francisco et al., 2024).

Principais Descobertas

- Diversificação econômica é o fator mais determinante** para o desenvolvimento local (84,4% de importância no modelo)
- Random Forest otimizado** apresentou melhor desempenho preditivo ($R^2 = 0,4959$)
- Municípios com maior desmatamento acumulado** não demonstraram vantagens socioeconômicas
- Conversão florestal não compensa** impactos ambientais com desenvolvimento humano diferenciado

1. Introdução e Contextualização Teórica

1.1. O Paradoxo Amazônico: Desmatamento vs. Desenvolvimento

A Amazônia Legal brasileira enfrenta um paradoxo histórico documentado pela literatura científica: apesar da **intensa conversão florestal desde a década de 1950**, os indicadores socioeconômicos regionais permanecem consistentemente abaixo da média nacional. Conforme Francisco, Toledo e Coelho (2024), "as extensas alterações ecológicas causadas

pelo desmatamento e seus impactos ambientais não são compensadas por um desempenho diferenciado das condições socioeconômicas".

A mudança do padrão histórico "Rio-Várzea-Floresta" para o "Padrão Rodovia-Terra Firme-Subsolo" (Francisco et al., 2024) estabeleceu um modelo de ocupação territorial que priorizou a conversão de ecossistemas naturais sem resultar em desenvolvimento socioeconômico proporcional.

1.2. Contexto Científico e Ambiental

- Perda de cobertura vegetal:** 18% do bioma amazônico já foi desmatado (PRODES/INPE, 2024)
- Zona crítica:** Aproximação da faixa de risco de 20-25% de perda florestal
- Estado do Pará:** Concentra parte significativa da fronteira de desmatamento
- Período de análise:** 2011-2021 (138 municípios, 8.465,66 km² desmatados)

1.3. Objetivos do Estudo

Objetivo Principal: Avaliar quantitativamente os impactos socioeconômicos do desmatamento no estado do Pará através de modelos preditivos, testando a hipótese de que conversão florestal promove desenvolvimento local.

2. Metodologia

2.1. Delineamento e Dados

Abordagem: Estudo observacional longitudinal com 1.360 observações municipais (2011-2021).

Fontes de Dados:

- PRODES/INPE:** Taxa anual de desmatamento por corte raso
- IBGE:** PIB Municipal e setores econômicos
- Tratamento:** Remoção de outliers pelo método IQR

2.2. Engenharia de Features

Features Desenvolvidas

- desmat_lag1:** Desmatamento do ano anterior
- desmat_acumulado:** Desmatamento histórico acumulado
- pib_growth:** Taxa de crescimento do PIB per capita
- intensidade_agro:** Participação da agropecuária no PIB (%)
- diversificacao_econ:** Índice de diversificação econômica
- densidade_economica:** PIB por área desmatada

- participacao_impostos**: Participação tributária no PIB (%)

2.3. Modelagem Preditiva

Divisão Temporal: Treinamento (2011-2018) e Teste (2019-2021)

Modelos:

- Regressão Linear (baseline)
- Random Forest com otimização GridSearchCV

Validação: Cross-validation temporal e tradicional

3. Resultados Principais

3.1. Correlação Desmatamento-Desenvolvimento: Evidência Empírica

Desmatamento vs PIB per capita: -0,017

Este resultado fundamental alinha-se com Francisco et al. (2024), que demonstraram que "municípios criados após 1970 não apresentam diferença significativa de desempenho em comparação com aqueles mais antigos", conforme indicado pelo Barômetro da Sustentabilidade aplicado à Amazônia Legal.

3.2. Performance dos Modelos

Modelo	R ² Teste	RMSE (R\$)	Interpretação
Regressão Linear	0,2037	59.827,35	Baseline
Random Forest	0,4959	47.598,46	Modelo superior

3.3. Hierarquia de Fatores Determinantes

Ranking	Variável	Importância	Significado
1º	diversificacao_econ	84,39%	Estrutura econômica diversificada
2º	intensidade_agro	4,27%	Participação agropecuária
3º	ano_normalizado	3,28%	Tendência temporal

4º	participacao_impuestos	3,23%	Capacidade tributária
5º	desmat_acumulado	2,47%	Histórico de desmatamento
7º	area_km_desmatada	0,77%	Desmatamento atual

Insight Crítico: Variáveis de desmatamento somam apenas 3,76% da capacidade preditiva, confirmando que conversão florestal é irrelevante para desenvolvimento econômico.

3.4. Cenários Projetivos

Cenário	Diversificação	Desmatamento	PIB per capita	Varição
Conservador	Atual	Atual	R\$ 9.646,13	Base
Otimista	+20%	-20%	R\$ 10.036,44	+4,04%
Pessimista	-20%	+30%	R\$ 9.124,74	-5,40%

4. Discussão: Confrontando Paradigmas

4.1. Quebra do Mito do Desenvolvimento via Desmatamento

Os resultados contradizem fundamentalmente a narrativa de que desmatamento é necessário para desenvolvimento econômico, confirmando observações de Francisco et al. (2024) sobre a ausência de benefícios socioeconômicos da conversão florestal.

Evidências Convergentes:

- Correlação negativa entre desmatamento e PIB per capita
- Baixíssima importância preditiva das variáveis de desmatamento
- Municípios pós-1970 sem vantagem comparativa demonstrável

4.2. Sustentabilidade Fraca na Amazônia

Francisco et al. (2024) identificaram que todos os municípios da Amazônia Legal encontram-se em níveis intermediários de Bem-Estar Humano e Ambiental, caracterizando "sustentabilidade fraca" onde "um eixo declina de maneira isolada e o sistema tenta compensar as perdas considerando a melhoria do outro eixo".

Esta pesquisa quantifica essa relação desequilibrada: **diversificação econômica (84,4%) supera amplamente qualquer efeito do desmatamento (3,76%)** como determinante de desenvolvimento.

4.3. Implicações para Mudanças Climáticas

O desmatamento intensifica vulnerabilidades climáticas sem compensação socioeconômica. Francisco et al. (2024) alertam que projeções indicam redução drástica da adequação edafoclimática para cultivos como cacau até 2050, demonstrando que o modelo atual compromete a sustentabilidade futura sem benefícios presentes.

5. Recomendações Estratégicas Baseadas em Evidências

5.1. Prioridade Absoluta: Diversificação Econômica

Justificativa Científica: Com 84,4% de importância preditiva, diversificação econômica é o fator dominante para desenvolvimento.

Ações Prioritárias:

- Incentivos fiscais para setores de serviços e indústria
- Desenvolvimento de capital humano técnico-científico
- Criação de distritos industriais e centros de inovação

5.2. Controle Estratégico do Desmatamento

Justificativa: Embora irrelevante para desenvolvimento econômico, o desmatamento intensifica vulnerabilidades climáticas.

Instrumentos:

- Sistema de monitoramento inteligente PRODES + indicadores socioeconômicos
- Pagamento por serviços ambientais
- ICMS ecológico baseado em performance ambiental

5.3. Políticas Territoriais Diferenciadas

Tipologia Municipal:

- **Municípios consolidados:** Foco em diversificação e modernização
 - **Municípios de fronteira:** Controle rigoroso + alternativas econômicas
 - **Municípios de conservação:** Economia de base florestal
-

6. Conclusões

6.1. Síntese das Descobertas Científicas

Esta pesquisa fornece evidências quantitativas robustas que confirmam observações qualitativas de Francisco et al. (2024):

1. **Desmatamento não promove desenvolvimento:** Correlação negativa (-0.017) refuta a hipótese de que conversão florestal é necessária para crescimento econômico
2. **Diversificação econômica é determinante:** 84,4% de importância preditiva demonstra que estrutura econômica supera amplamente qualquer efeito do desmatamento
3. **Sustentabilidade fraca regional:** Confirma que "as extensas alterações ecológicas causadas pelo desmatamento não são compensadas por um desempenho diferenciado das condições socioeconômicas"
4. **Modelos preditivos validados:** Random Forest ($R^2 = 0,4959$) oferece capacidade preditiva satisfatória para orientar políticas públicas

6.2. Contribuições Científicas

- **Quantificação empírica** de relações teóricas estabelecidas na literatura
- **Metodologia replicável** para análises similares em outras regiões amazônicas
- **Base científica robusta** para políticas públicas baseadas em evidências

6.3. Implicações para Política Pública

Os resultados exigem **reorientação fundamental das estratégias de desenvolvimento** amazônico:

- Abandonar políticas baseadas em conversão florestal
- Priorizar diversificação econômica como motor de desenvolvimento
- Implementar monitoramento científico para tomada de decisão

6.4. Limitações Reconhecidas

- **Causalidade:** Correlações não implicam necessariamente relações causais
- **Escala temporal:** 11 anos podem não capturar efeitos de muito longo prazo
- **Generalização:** Resultados específicos para o Pará requerem validação em outras regiões

6.5. Mensagem Final: Paradigma Científico

Esta pesquisa oferece evidência científica de que **desenvolvimento e conservação não são trade-offs**, mas podem ser estratégias complementares. A descoberta de que diversificação econômica supera conversão florestal como determinante de desenvolvimento oferece esperança concreta de que prosperidade e preservação podem coexistir.

A Amazônia pode ser mais próspera preservada do que destruída.

Referências

Fonte de Dados Primárias

- **INPE/PRODES**: Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
- **IBGE**: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - PIB Municipal

Referências Científicas

- FRANCISCO, F. de A.; TOLEDO, P. M. de; COELHO, A. dos S. **Desafios socioambientais decorrentes da expansão da fronteira Amazônica no contexto do desmatamento regional**. InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade, v. 10, n. 02 (ed. esp.), e23154, 2024. Disponível em: . Acesso em: 30 jun. 2025.

Ferramentas Metodológicas

- **Scikit-learn**: Machine learning em Python
- **GridSearchCV**: Otimização de hiperparâmetros
- **Cross-validation temporal**: Validação para dados longitudinais