

ECOEFIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA ORIENTAL: UMA
APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS AOS MUNICÍPIOS DO
ESTADO DO MARANHÃO

ECO-EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN THE EASTERN AMAZON: A
DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPLICATION TO MUNICIPALITIES IN
THE STATE OF MARANHÃO

ECOEficiencia Y SOSTENIBILIDAD EN LA AMAZONIA ORIENTAL: UN
ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS APLICADO A LOS MUNICIPIOS DEL ESTADO
DE MARANHÃO

Aroldo Cristiano Guerreiro Leal¹; Alinie Rocha Mendes²

¹ Universidade Católica de Brasília (UCB).

E-mail: acgleal@gmail.com.

Aroldo Cristiano Guerreiro Leal:  <https://orcid.org/0000-0002-2596-6261>

² Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), campus Estreito.

E-mail: Alinie.mendes@uemasul.edu.br

Alinie Rocha Mendes:  <https://orcid.org/0000-0001-8287-1720>

RESUMO

A Amazônia Oriental apresenta importantes desafios relacionados ao crescimento econômico, uso intensivo dos recursos naturais e pressões ambientais associadas ao desenvolvimento regional. Nesse contexto, torna-se necessário compreender como os municípios conseguem transformar recursos produtivos em desenvolvimento econômico e social com menor impacto ambiental. O presente estudo tem como objetivo analisar a ecoeficiência técnica dos municípios da Amazônia Oriental por meio da Análise Envoltória de Dados. A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, descritiva e documental, utilizando dados secundários provenientes de bases públicas nacionais. O modelo DEA-SBM será empregado para mensurar a ecoeficiência técnica municipal, considerando indicadores econômicos, sociais e ambientais. Espera-se identificar diferenças nos níveis de ecoeficiência entre os municípios, evidenciando que crescimento econômico não necessariamente implica sustentabilidade socioambiental. Os resultados poderão contribuir para reflexões sobre planejamento territorial, gestão ambiental e formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável na Amazônia Oriental.

Palavras-chave: ecoeficiencia, Amazônia Oriental, sustentabilidade, DEA, desenvolvimento regional.

ABSTRACT

The Eastern Amazon faces important challenges related to economic growth, intensive use of natural resources, and environmental pressures associated with regional development. In this context, it becomes necessary to understand how municipalities transform productive resources into economic and social development with lower environmental impact. This study aims to analyze the technical eco-efficiency of municipalities in the Eastern Amazon through Data Envelopment Analysis. The research is characterized as quantitative, descriptive, and

documentary, using secondary data from national public databases. The DEA-SBM model will be employed to measure municipal eco-efficiency considering economic, social, and environmental indicators. The study is expected to identify differences in eco-efficiency levels among municipalities, demonstrating that economic growth does not necessarily imply socio-environmental sustainability. The results may contribute to discussions on territorial planning, environmental management, and public policies aimed at sustainable development in the Eastern Amazon.

Keywords: eco-efficiency; Eastern Amazon; sustainability; DEA; regional development.

INTRODUÇÃO

A Amazônia Oriental apresenta crescente relevância nos debates relacionados ao desenvolvimento sustentável, especialmente diante das pressões ambientais decorrentes da expansão econômica, uso intensivo do território e desigualdades regionais (Becker, 2013). O crescimento econômico da região frequentemente ocorre associado a impactos ambientais, como desmatamento, degradação territorial e uso intensivo dos recursos naturais.

Nesse cenário, torna-se necessário avaliar não apenas indicadores tradicionais de crescimento econômico, mas também a capacidade dos municípios de promover desenvolvimento econômico e social com menor impacto ambiental (Leff, 2015). A ecoeficiência surge como importante instrumento analítico para compreensão da relação entre desempenho econômico e sustentabilidade socioambiental. A ecoeficiência está relacionada à capacidade de gerar melhores resultados econômicos e sociais utilizando menos recursos e reduzindo impactos ambientais negativos (Schaltegger; Sturm, 1990). No contexto da gestão pública e do desenvolvimento regional, sua análise permite identificar assimetrias territoriais e diferenças na utilização dos recursos produtivos municipais.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) constitui importante ferramenta metodológica para avaliação comparativa de eficiência relativa entre unidades tomadoras de decisão, permitindo incorporar simultaneamente múltiplos inputs e outputs (Cooper; Seiford; Tone, 2007). Em estudos de ecoeficiência, modelos DEA possibilitam integrar indicadores econômicos, sociais e ambientais em uma única estrutura analítica. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a ecoeficiência técnica dos municípios da Amazônia Oriental por meio da Análise Envoltória de Dados, considerando indicadores econômicos, sociais e ambientais.

REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de ecoeficiência ganhou destaque a partir das discussões relacionadas ao desenvolvimento sustentável e à necessidade de conciliar crescimento econômico e preservação ambiental (Schaltegger; Sturm, 1990). A ecoeficiência busca avaliar a capacidade de gerar maior valor econômico utilizando menos recursos naturais e reduzindo impactos ambientais.

No contexto regional, estudos sobre ecoeficiência contribuem para compreensão das desigualdades territoriais e dos diferentes padrões de desenvolvimento econômico e ambiental (Leff, 2015). Na Amazônia Oriental, tais discussões tornam-se ainda mais relevantes diante das pressões associadas ao desmatamento, expansão agropecuária e exploração intensiva dos recursos naturais (Becker, 2013). A Análise Envoltória de Dados (DEA) constitui técnica amplamente utilizada para mensuração de eficiência relativa entre unidades comparáveis, permitindo avaliar múltiplos inputs e outputs simultaneamente (Cooper; Seiford; Tone, 2007).

Em análises ambientais, modelos DEA podem incorporar outputs indesejáveis relacionados à degradação ambiental, tornando-se instrumentos relevantes para estudos de sustentabilidade. Entre os modelos existentes, o Slacks-Based Measure (SBM) apresenta vantagens na análise de ecoeficiência por considerar simultaneamente redução de inputs, aumento de outputs desejáveis e redução de outputs indesejáveis (Tone, 2001).

Nesse sentido, a utilização da DEA em estudos sobre municípios amazônicos pode contribuir para identificação de padrões de eficiência técnica e sustentabilidade regional, auxiliando na formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, descritiva e documental, desenvolvida mediante utilização de dados secundários referentes aos municípios da Amazônia Oriental.

Os dados serão obtidos em bases públicas nacionais, incluindo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (SICONFI), Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED), TerraBrasilis/INPE e MapBiomias.

A mensuração da ecoeficiência técnica municipal será realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), utilizando o modelo Slacks-Based Measure (SBM), apropriado para análises envolvendo outputs desejáveis e outputs indesejáveis (Tone, 2001).

O modelo considerará indicadores relacionados aos recursos produtivos utilizados pelos municípios, indicadores econômicos e sociais associados ao desempenho municipal e variáveis ambientais relacionadas à pressão ambiental e degradação territorial.

Os resultados permitirão comparar níveis relativos de ecoeficiência entre os municípios analisados, identificando aqueles mais próximos da fronteira eficiente e aqueles com maior distância relativa em relação às melhores práticas observadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados indicam elevada heterogeneidade na ecoeficiência técnica dos municípios maranhenses. No modelo DEA orientado a inputs, a eficiência média foi de aproximadamente 0,714 e a mediana de 0,693, sugerindo que o município típico poderia reduzir, em termos relativos, entre 29% e 31% de seus inputs, mantendo os níveis observados de outputs desejáveis e indicadores ambientais transformados.

Dos 217 municípios analisados, 73 apresentaram escore igual a 1, correspondendo a cerca de 33,6% da amostra. Esses municípios compõem a fronteira eficiente do modelo, incluindo Afonso Cunha, Água Doce do Maranhão, Alcântara, Bacabeira, Balsas, São Luís, São José de Ribamar, Timon, Pedreiras, Raposa, Santa Rita, Tutóia e Vitorino Freire. Essa classificação não indica ausência de impactos ambientais, mas melhor desempenho relativo diante dos indicadores utilizados.

A maioria dos municípios, 144 unidades, ficou abaixo da fronteira eficiente. A distribuição dos escores mostra que 56 municípios ficaram entre 0,25 e 0,50; 62 entre 0,50 e 0,75; e apenas 25 entre 0,75 e 1, sem alcançar eficiência plena. Os menores desempenhos relativos foram observados em Aldeias Altas, Urbano Santos, Formosa da Serra Negra, Santa Luzia do Paruá, Centro Novo do Maranhão, Milagres do Maranhão, São Bento, Pastos Bons, Santa Helena e Nova Olinda do Maranhão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciam que a ecoeficiência técnica dos municípios maranhenses é marcada por elevada heterogeneidade, indicando diferenças relevantes na capacidade de converter recursos produtivos em resultados econômicos e sociais com menor pressão ambiental. A identificação de 73 municípios na fronteira eficiente demonstra a existência de referências relativas de melhor desempenho no estado, enquanto os 144 municípios abaixo da fronteira revelam margem significativa de aprimoramento.

A aplicação da Análise Envoltória de Dados mostrou-se adequada para integrar indicadores econômicos, sociais e ambientais em uma estrutura comparativa. Contudo, a eficiência observada deve ser compreendida em termos relativos, não significando ausência

de impactos socioambientais, mas melhor desempenho frente às demais unidades analisadas e às variáveis selecionadas.

Conclui-se que o estudo contribui para o debate sobre desenvolvimento regional sustentável no Maranhão, no contexto da Amazônia Oriental, ao oferecer uma leitura quantitativa da relação entre economia, sociedade e meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- BECKER, B. K. *Amazônia: geopolítica na virada do III milênio*. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.
- COOPER, W. W.; SEIFORD, Lawrence M.; TONE, Kaoru. *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. 2. ed. New York: Springer, 2007.
- LEFF, E. *Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder*. Petrópolis: Vozes, 2015.
- SCHALTEGGER, S.; STURM, A. Ökologische Rationalität: Ansatzpunkte zur Ausgestaltung von ökologieorientierten Managementinstrumenten. *Die Unternehmung*, v. 4, p. 273-290, 1990.
- TONE, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, v. 130, n. 3, p. 498-509, 2001.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

O estudo utilizou ferramentas de Inteligência Artificial (Chatgpt) para apoio linguístico, revisão textual e auxílio estrutural, sem interferência na análise crítica ou nas decisões metodológicas dos autores.