O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VII | Volume 23 | Nº 68 | Boa Vista | 2025

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.16934858

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL NO MUNICIPIO DE QUERÊNCIA, MATO GROSSO, BRASIL: UM ESTUDO DE CASO

Deimison Rodrigues Oliveira[1]

Adriana Bilar Chaquime dos Santos[2]

Romildo Camargo Martins[3]

Rildo Vieira de Araújo[4]

Reginaldo Brito Costa[5]

Resumo

O presente estudo analisou a eficiência ambiental do município de Querência (MT) em comparação a outros 24 municípios do Vale do Rio Araguaia, inseridos no bioma Cerrado e na bacia Tocantins-Araguaia. A pesquisa parte do dilema entre desenvolvimento econômico, especialmente agropecuário, e conservação ambiental, considerando os impactos do crescimento sobre o desmatamento em áreas de fronteira agrícola. O objetivo central foi mensurar a eficiência relativa dos municípios e identificar práticas sustentáveis que possam servir de referência para políticas públicas regionais. Metodologicamente, adotou-se abordagem quantitativa, complementada por análise qualitativa. A eficiência foi estimada por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), especificação de Retornos Variáveis de Escala (VRS) orientada a insumos, operacionalizada no *software* R. Utilizou-se como variável de produto o Produto Interno Bruto (PIB), obtido junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e como insumo a área desmatada, registrada pela plataforma Terrabrasilis, ligada ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A série histórica contemplou o período de 2017 a 2021, permitindo análise comparativa temporal. A etapa qualitativa buscou interpretar os resultados à luz de políticas ambientais e iniciativas locais. Os achados revelaram que Querência apresentou eficiência ambiental máxima em todos os anos do estudo, contrastando com a variação observada nos demais municípios. Essa estabilidade relaciona-se à adoção de práticas de governança ambiental, ao monitoramento constante e à cooperação entre governo local, produtores rurais e sociedade civil, com destaque para o projeto "Querência +: Paisagens Sustentáveis". Conclui-se que Querência constitui um caso de referência em eficiência ambiental, demonstrando que a articulação institucional e gestão sustentável permitem conciliar crescimento econômico e preservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: Cerrado; Desenvolvimento Sustentável; Eficiência Ambiental; Gestão Ambiental.

Abstract

This study analyzed the environmental efficiency of Querência (MT) in comparison with 24 other municipalities in the Vale do Rio Araguaia region, located within the Cerrado biome and the Tocantins-Araguaia basin. The research addresses the dilemma between economic development, especially in agriculture and livestock, and environmental conservation, considering the impacts of growth on deforestation in agricultural frontier areas. The main objective was to measure the relative efficiency of the municipalities and identify sustainable practices that could serve as references for regional public policies. Methodologically, a quantitative approach was adopted, complemented by qualitative analysis. Efficiency was estimated using Data Envelopment Analysis (DEA), with Variable Returns to Scale (VRS) and an input-oriented model, implemented through R software. The Gross Domestic Product (GDP) obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) was used as the product variable, and the deforested area, recorded by the Terrabrasilis platform, linked to the National Institute for Space Research (INPE), was used as input. The historical data covered the period from 2017 to 2021, allowing for temporal comparative analysis. Qualitative investigation aimed to interpret results in light of environmental policies and local initiatives. Findings revealed that Querência consistently demonstrated maximum environmental efficiency throughout the study years, contrasting with variability among the other municipalities. This stability is linked to the adoption of environmental governance practices, continuous monitoring, and cooperation among local government, rural producers, and civil society. The project "Querência +: Sustainable Landscapes" stands out as a key component. In conclusion, Querência represents a reference case for environmental efficiency, showing that institutional coordination and sustainable management can reconcile economic growth with natural resource preservation.

Keywords: Cerrado; Environmental Efficiency; Environmental Management; Sustainable Development.

[1] Mestrando em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agrícola pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: deimison.rodrigues93@gmail.com

[2] Doutoranda em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agrícola pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: adrianabilar@hotmail.com

[3] Professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Doutor em Desenvolvimento Local pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: romildocamargo@hotmail.com

[4] Professor do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT). Doutor em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). E-mail: ifmt.rildo@gmail.com

[5] Professor da Universidade Católica Dom Bosco (UCDB). Doutor em Ciências Florestais pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: reg.brito.costa@gmail.com

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico em municípios inseridos na Amazônia Legal apresenta-se como um desafio estratégico, especialmente em territórios onde a expansão da fronteira agrícola ocorre em paralelo ao aumento das pressões ambientais. Em Querência, no estado de Mato Grosso, esse cenário é particularmente evidente, pois a intensificação das atividades produtivas vem acompanhada de mudanças significativas na paisagem e de impactos diretos sobre os ecossistemas locais.

A relevância desta pesquisa decorre da necessidade de compreender como a dinâmica econômica influencia a sustentabilidade ambiental em um município que simboliza os dilemas nacionais entre crescimento e conservação. Trata-se de um estudo oportuno, considerando a centralidade da região nas discussões sobre uso do solo, preservação de recursos naturais e competitividade do agronegócio.

A questão que orienta o trabalho pode ser sintetizada da seguinte forma: de que maneira a trajetória econômica de Querência se relaciona com a preservação ambiental e quais são as implicações dessa interação para a sustentabilidade local? Responder a essa pergunta contribui tanto para o debate acadêmico quanto para o planejamento de políticas públicas voltadas ao equilíbrio entre desenvolvimento e meio ambiente.

A pesquisa tem como objetivo avaliar a relação entre economia e meio ambiente no município de Querência, utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA) como instrumento de mensuração de eficiência relativa. A metodologia adota uma abordagem quantitativa, apoiada em indicadores socioeconômicos e ambientais, permitindo identificar padrões de uso de recursos e potenciais caminhos de conciliação entre produção e conservação.

O estudo ancora-se na concepção de desenvolvimento sustentável como a integração equilibrada das dimensões econômica, social e ambiental. Essa perspectiva oferece um referencial para interpretar os resultados e situar a análise no contexto mais amplo das discussões sobre sustentabilidade em regiões de fronteira agrícola.

O artigo organiza-se em cinco seções. Após esta introdução, a segunda seção apresenta os conceitos que fundamentam a pesquisa, abordando teorias e práticas relacionadas ao desenvolvimento sustentável e à sustentabilidade, à eficiência econômica e ambiental, à importância da preservação do Bioma Cerrado e da Bacia Tocantins-Araguaia no contexto brasileiro, bem como os desafios ambientais e econômicos enfrentados pela região. A terceira seção descreve os procedimentos metodológicos adotados, detalhando as fontes de dados, as variáveis utilizadas, a construção dos indicadores, assim como a metodologia DEA aplicada para analisar a eficiência relativa entre diferentes períodos ou setores econômicos. A quarta seção discute os resultados obtidos a partir da análise, destacando as principais

tendências, os padrões encontrados, as inter-relações entre crescimento econômico e impactos ambientais, e suas implicações para a sustentabilidade local e regional. Por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais, ressaltando as contribuições do estudo para a literatura acadêmica e para a formulação de políticas públicas, além de abordar as limitações enfrentadas pela pesquisa e sugerir caminhos e temas para investigações futuras, potencialmente envolvendo análises mais aprofundadas e a inclusão de variáveis adicionais ou metodologias complementares.

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE: ESTRUTURAS CONCEITUAIS E DESAFIOS CONTEMPORÂNEOS

Nenhum outro conceito foi citado tantas vezes e com tanta ênfase em pesquisas científicas nos últimos anos como os termos “desenvolvimento sustentável” e “sustentabilidade" (MIKHAILOVA, 2004; OLIVEIRA, *et al.* 2024).

O desenvolvimento sustentável (DS) é um termo muito presente nos debates atuais, reconhecido a partir do Relatório Blundtland ou Nosso Futuro Comum (1991) da Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (MARTINS, CÂNDIDO, 2012) e passou a ter mais relevância no cenário mundial com o início da investigação e reflexão sobre o colapso social eminente relacionado a exploração descontrolada dos recursos naturais, oriundo de estudos científicos e divulgados em encontros internacionais durante a década de 1970 (FOROUDI *et al*., 2024). Entretanto, a expressão desenvolvimento sustentável só ficou popularizada entre as décadas de 1980 e 1990 (PISANI, 2006; FEIL, SCHREIBER, 2017).

Já para sustentabilidade existem várias definições de conceitos com visões diferentes fundamentadas de acordo com as áreas de interesse dos variados estudos, ampliando excessivamente o seu significado (MIKHAILOVA, 2004). Essa gama de sentidos para o termo se dá pelo fato de a sustentabilidade estar composta por vastas dimensões que intimamente a integram como a política, a cultural, a espacial e várias outras, com isso seu foco é voltado para os objetivos econômicos, sociais e ambientais (MELO, *et al.* 2024). Esse conceito passou a ser desenhado em 1972 durante a conferência das nações unidas sobre meio ambiente em Estocolmo, na Suécia (SAJJAD, EWEJE, RAZIQ, 2023).

O termo sustentabilidade geralmente está associado ao desenvolvimento sustentável, porém, a noção de sustentabilidade não se resume à definição de desenvolvimento (SILVA, *et al.* 2015) e segundo Melo *et al.* (2024) pensar sustentabilidade remete a desenvolvimento sustentável apesar de serem conceitos que possuem distinções, ainda que sejam bem próximos. Pode-se dizer que sustentabilidade se relaciona com o fim, enquanto desenvolvimento sustentável refere-se ao processo (RAMIREZ,

LIZARAZO, 2025).

Pode-se observar que a maior parte das discussões sobre desenvolvimento sustentável objetiva sobretudo a dimensão econômica e isso reflete diretamente nas abordagens sobre desenvolvimento e crescimento econômico, o que por sua vez pode não gerar impacto nas ações que trazem melhorias nas demais dimensões como por exemplo a social que visa a melhoria na qualidade de vida da população (MELO, *et al.* 2024).

Sendo assim, sustentabilidade é a capacidade de se manter e de se sustentar. Uma atividade sustentável nada mais é que uma ação que pode ser mantida para sempre. Ou seja, uma exploração de recursos naturais de maneira sustentável dura para sempre e uma sociedade sustentável é aquela que não coloca em risco os elementos ou recursos naturais disponíveis no ambiente. Desenvolvimento sustentável é aquele que melhora a qualidade de vida do ser humano na Terra e ao mesmo tempo respeita a disponibilidade e a capacidade dos recursos extraídos dos ecossistemas em que vivemos (MIKHAILOVA, 2004; NASEER *et al*., 2025).

Segundo Silva *et al.* (2015) para alcançar a sustentabilidade é preciso buscar um modelo de desenvolvimento que esteja definido em bases voltadas para as demandas sociais, políticas e econômicas de maneira equilibrada e sem violação dos direitos humanos. Essa busca depende do poder público na atuação e criação de programas e políticas voltados para a sustentabilidade, mas depende também de toda a sociedade no compromisso e cuidado com as questões ecológicas e ambientais.

EFICIÊNCIA E EFICIÊNCIA AMBIENTAL

O termo eficiência refere-se à capacidade de uma organização ou atividade produtiva em produzir bens e serviços utilizando uma menor quantidade de recursos, com foco não apenas nos aspectos técnicos de produção, mas também na otimização do processo e na maximização dos resultados (RELLA; RAIMO; VITOLLA, 2025). Portanto, o conceito está relacionado a maneira como uma organização realiza uma tarefa, observando-se que a utilização dos recursos a partir de uma metodologia adequada otimiza a produção e gera um número expressivo de produtos (WANG, *et al.,* 2025).

A eficiência pode ser definida de forma relativa ao compararmos a produção por unidade de insumo utilizado com o potencial máximo de produção que poderia ser alcançado com a mesma quantidade de matéria prima. Essa comparação não só nos permite avaliar a eficiência em termos absolutos, mas também entender como ela se posiciona em relação ao máximo aproveitamento dos recursos disponíveis (WU, *et al*., 2024). Nesse mesmo sentido, levando em conta a capacidade produtiva e os recursos disponíveis, temos a eficiência ambiental, que parte do princípio da utilização dos recursos

naturais como meio de produção de maneira responsável e sustentável, equilibrando os aspectos econômicos e sociais juntamente com o ambiental (SHEN, *et al*., 2022).

Segundo Yang *et al*. (2021) os recursos naturais são limitados e podem acabar, logo a eficiência ambiental auxilia na manutenção desses recursos utilizando-se da capacidade de maximizar a produção de bens e serviços desejados, ao mesmo tempo em que minimiza o consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e poluentes, e os impactos negativos sobre os ecossistemas. Sendo assim, investir em eficiência ambiental não apenas é crucial para garantir a sustentabilidade dos recursos naturais finitos, como também é fundamental para promover um desenvolvimento econômico e social equilibrado.

O investimento na eficiência ambiental constitui a base material para o avanço científico e a inovação tecnológica voltados à preservação do meio ambiente. A quantidade de investimento nessa área determina a amplitude das atividades de eficiência ambiental, influenciando diretamente a capacidade de implementação de soluções eficazes para mitigar os impactos ambientais e promover práticas sustentáveis (YANG *et al*., 2021; TAWIAH *et al.*, 2022). Segundo os autores, a avaliação do investimento em eficiência ambiental é fundamental para aprimorar a estrutura de investimentos, preservar os recursos naturais e maximizar os benefícios diante das limitações de investimento nesse âmbito. Essa ação visa otimizar os recursos destinados à eficiência ambiental, garantindo que cada investimento contribua de forma significativa para a conservação do meio ambiente e para o desenvolvimento sustentável.

Essa abordagem procura otimizar o uso dos recursos naturais e a gestão dos processos produtivos nas cidades de forma a garantir a sustentabilidade ambiental a longo prazo. Entende-se por cidade sustentável aquela que é capaz de combinar desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental, incluindo todos os direitos humanos e liberdades fundamentais, sendo eles o direito ao desenvolvimento e ao trabalho (PIÑA *et al*., 2016; HALKOS, ASLANIDIS, 2023), preservando os recursos naturais para as gerações futuras e minimizando os danos ao meio ambiente. A eficiência ambiental considera não apenas os aspectos econômicos, mas também os aspectos sociais e ambientais, promovendo o desenvolvimento sustentável e a harmonia entre as atividades humanas e os ecossistemas naturais (MAJID *et al*., 2023).

A eficiência ambiental busca, portanto, otimizar a relação entre a atividade econômica e o meio ambiente, garantindo a conservação dos recursos naturais para as gerações futuras e promovendo o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e a preservação dos ecossistemas. Para que os municípios possam caminhar rumo a um desenvolvimento sustentável necessitam de um trabalho equilibrado e sólido voltado para a gestão ambiental (STORTO, 2024).

Os estudos voltados para a eficiência ambiental têm explorado diversas abordagens relacionadas à gestão, inovação e tecnologia (LI *et al*., 2013; WANG *et al*., 2025). Com o objetivo de reduzir o impacto

de certos insumos na natureza, evidenciando que cidades mais eficientes são capazes de utilizar os recursos de maneira apropriada, o que, por sua vez, promove o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável (PIÑA *et al*., 2016; WANG *et al*., 2025).

Vários autores têm utilizado a metodologia de Análise Envoltória de Dados (DEA), que se mostrou altamente eficaz para mensurar a eficiência ambiental. Um estudo realizado na China sobre recursos humanos e eficiência ambiental, por exemplo, evidenciou a interdependência entre a utilização adequada dos recursos urbanos, a inovação tecnológica, a qualidade da governança e a eficiência ambiental (XIAOPING *et al*., 2014). Mais recentemente, Chen *et al*., (2022), ao aplicarem o modelo DEA em três estágios, confirmaram a relevância desse método ao demonstrar como fatores institucionais e regionais influenciam a eficiência ambiental, reforçando a necessidade de abordagens integradas e abrangentes para enfrentar os desafios ambientais e promover o desenvolvimento sustentável.

Na mesma linha, Araujo *et al*., (2021) aplicaram a metodologia DEA para avaliar a eficiência ambiental de municípios localizados no Vale do Rio Araguaia, em Goiás, Brasil. Os resultados revelaram que muitos municípios apresentaram índices de eficiência significativamente abaixo da média, fato atribuído à ausência de planejamento ambiental adequado por parte dos gestores públicos locais. O estudo destacou a importância de uma gestão ambiental eficaz e de políticas públicas voltadas à preservação dos recursos naturais. Complementando essa perspectiva, Costa, Dias, Robaina, (2024), abordaram um estudo cujo o objetivo foi estimar a eficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos em 940 municípios brasileiros por meio da técnica de Análise Envoltória de Dados (DEA), essa avaliação permitiu identificar quais municípios são mais eficientes na gestão de resíduos sólidos, comparar desempenhos entre diferentes localidades e fornecer subsídios para aprimorar políticas públicas e práticas de gestão ambiental em níveis local e regional.

PRESERVAÇÃO DO BIOMA CERRADO E DA BACIA TOCANTINS-ARAGUAIA NO CONTEXTO BRASILEIRO

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, abrangendo cerca de 2 milhões de km² e ocupando 22% do território brasileiro, presente em onze estados (SILVA *et al*., 2022; NASCIMENTO, NAVARRO, DUTRA, 2023). Esse bioma possui uma rica biodiversidade, com cerca de 10 mil espécies de plantas, 837 espécies de aves, 161 espécies de mamíferos, 150 espécies de anfíbios e 120 espécies de répteis já registradas, tornando-o a savana tropical mais diversa do mundo (KLINK, MACHADO, 2005; CUNHA, BRAVO, 2022).

Considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, o cerrado destaca-se pela extrema

abundância de espécies endêmicas, ao mesmo tempo em que enfrenta uma perda de habitat alarmante (MYERS *et al*., 2000; NASCIMENTO, NAVARRO, DUTRA, 2023). Essa savana brasileira é rica em flora e fauna exclusivas, mas está sob constante ameaça devido à expansão agrícola crescente nas últimas décadas, e segundo Souza *et al*., (2023) a exploração do bioma Cerrado está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento da região Centro-Oeste e do território nacional, impulsionada pela necessidade de encontrar novas áreas para a expansão do capital. Essa dinâmica é orientada por políticas voltadas para o desenvolvimento regional, que frequentemente priorizam o crescimento econômico em detrimento da conservação ambiental (ARAUJO *et al*., 2021).

Além de sua biodiversidade, o Cerrado exerce um papel fundamental na distribuição dos recursos hídricos do país (ARAUJO *et al*., 2022), sendo fonte de importantes bacias hidrográficas como a bacia Tocantins-Araguaia e contribuindo para a recarga de aquíferos, como o Aquífero Guarani (NASCIMENTO, NAVARRO, DUTRA, 2023). Essas bacias são responsáveis por abastecer uma grande parte da população brasileira, além de sustentarem atividades agrícolas, industriais e ecossistêmicas essenciais para a manutenção da biodiversidade local. A conservação das áreas naturais do Cerrado é, portanto, vital para garantir a qualidade e a quantidade da água disponível, influenciando diretamente a segurança hídrica regional e nacional. Contudo, o avanço da fronteira agrícola e as mudanças no uso do solo têm provocado impactos negativos sobre a hidrologia, como a redução da capacidade de infiltração, aumento da erosão e a poluição dos cursos d'água, o que demanda políticas e práticas sustentáveis para a preservação desses recursos vitais (LIMA-JUNIOR *et al*., 2024).

A bacia Tocantins-Araguaia, localizada nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, é formada pelos rios Tocantins e Araguaia, cobrindo cerca de 767.000 km², e constitui a maior bacia hidrográfica totalmente em território brasileiro (MELO *et al*., 2023). O Rio Araguaia, com aproximadamente 2.627 km de extensão, atravessa 52 municípios em quatro estados: Goiás, Mato Grosso, Tocantins e Pará, sendo fundamental para a biodiversidade e os recursos hídricos da região do Cerrado (ASSIS, FARIA, BAYER, 2021; TEIXEIRA *et al*., 2024).

O Araguaia nasce na Serra do Caiapó, no estado de Goiás, e deságua no Rio Tocantins, no estado do Pará, atravessando ecossistemas cruciais para a biodiversidade e a economia local. Seus afluentes, como os rios Claro, Caiapó e das Mortes, são essenciais para o abastecimento hídrico e as atividades agrícolas e industriais (LIMA-JUNIOR *et al*., 2024). A bacia é dividida em três partes: Alto, Médio e Baixo Araguaia, cada uma com características geológicas e hidrológicas distintas, evidenciando a importancia dessa bacia para a manutenção da biodiversidade e da vida (LATRUBESSE, STEVAUX, 2002; LIMA-JUNIOR *et al*., 2024).

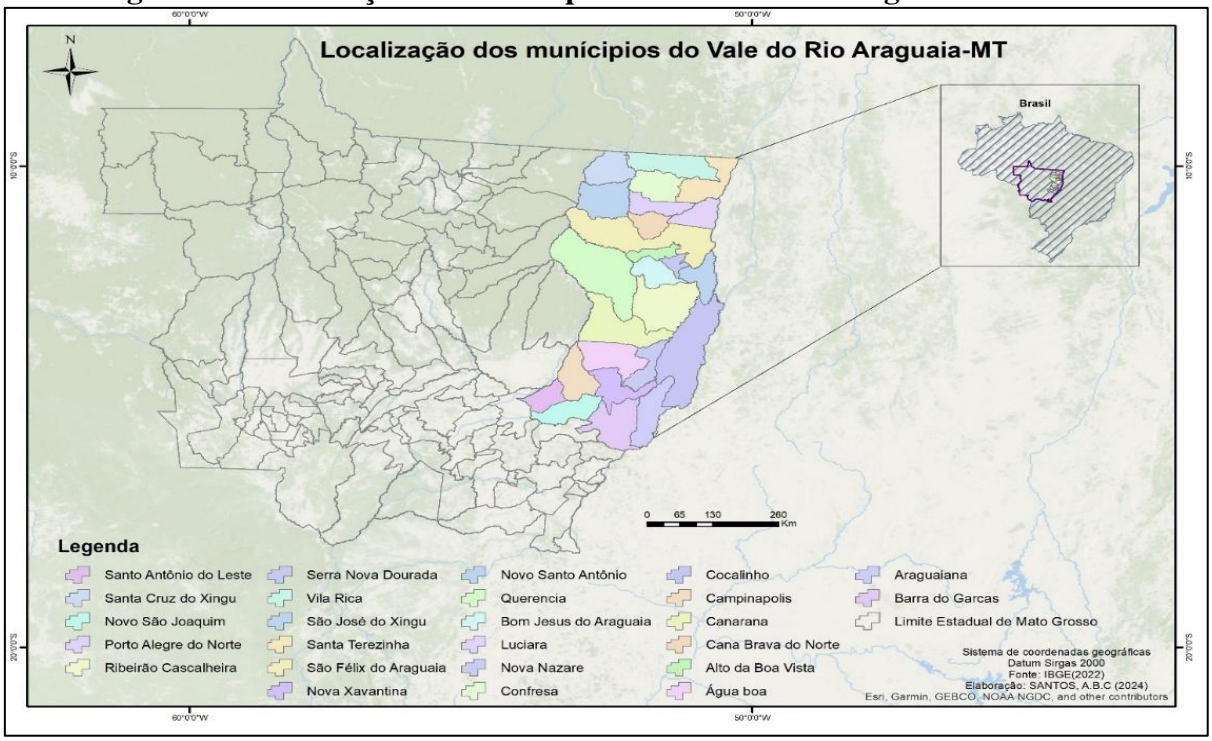
Sendo assim, a preservação do bioma Cerrado e da bacia Tocantins-Araguaia é fundamental tanto

para a manutenção da biodiversidade quanto para a sustentabilidade socioeconômica da região. O Cerrado regula o fluxo hídrico, recarrega aquíferos e sustenta ecossistemas aquáticos, incluindo os rios da bacia Araguaia, que são vitais para abastecimento humano, agricultura e indústria. Além disso, a conservação desses ambientes protege espécies endêmicas, mantém os serviços ecossistêmicos essenciais, como controle climático e ciclagem de nutrientes, e assegura a continuidade das atividades econômicas locais, evidenciando a interdependência entre preservação ambiental e desenvolvimento sustentável (SCHMITZ *et al*., 2025).

METODOLOGIA

O presente estudo exploratório é caracterizado como descritivo e explicativo quanto aos fins e possui natureza qualiquantitativa quanto aos meios (CRUZ *et al.*, 2022), a fim de avaliar a relação da economia e meio ambiente no município de Querência, no estado de Mato Grosso, Brasil, utilizando a Análise Envoltória de Dados (DEA), inserido em um universo de 25 municípios analisados. Para isso, adotou-se uma abordagem qualitativa e quantitativa (XUE, *et al*., 2022; OLIVEIRA, *et al*., 2024), com ênfase especial nas características e particularidades ambientais de Querência. Com isso, o trabalho pretende fornecer subsídios para a formulação de estratégias mais eficazes de planejamento e conservação ambiental em regiões similares. A figura 1 mostra os locais do estudo.

Figura 1 – Localização dos municipios do vale do Rio Araguaia-MT-Brasil



Fonte: Elaboração própria.

Caracterização da Área de Estudo

Querência é um município localizado no estado de Mato Grosso, na região Centro-Oeste do Brasil, com uma área de aproximadamente 6.126,81 km² e uma população estimada em cerca de 26.769 habitantes (IBGE, 2022). Situado a cerca de 900 quilômetros da capital Cuiabá, o município é predominantemente rural e possui características geográficas e socioeconômicas marcadas pela presença de vastas áreas de cerrado e florestas, além de um clima tropical, com estações bem definidas de seca e chuva. Sua hidrografia é composta por importantes bacias hidrográficas, como o Rio Araguaia, que desempenham um papel fundamental para a agricultura, a pecuária e o abastecimento de água da população (SIMÕES *et al*., 2017).

A economia de Querência é fortemente voltada para a agropecuária, tendo na agricultura especialmente no cultivo de soja, milho e algodão, uma de suas principais atividades econômicas. O município está inserido em uma das regiões mais dinâmicas do agronegócio brasileiro, o que impulsiona sua economia e atrai investimentos voltados à produção agrícola (IMEA, 2024). Além disso, a pecuária, com destaque para a criação de gado de corte, representa outro importante pilar econômico, gerando empregos e contribuindo para o desenvolvimento regional. No entanto, essas atividades também acarretam impactos ambientais significativos, como o desmatamento, a degradação do solo e a pressão sobre os recursos hídricos (SIMÕES *et al*., 2017).

Em termos de estrutura social, Querência é composta principalmente por uma população jovem e rural, que depende da agricultura e da pecuária para sua subsistência e desenvolvimento econômico. Embora o município tenha experimentado um crescimento populacional moderado nas últimas décadas, as questões relacionadas à urbanização e à qualidade dos serviços públicos ainda são desafios a serem enfrentados. A cidade possui uma infraestrutura básica em áreas como saúde, educação e transporte, mas há a necessidade de aprimorar esses serviços, especialmente com o aumento da demanda populacional e a expansão das atividades econômicas (IBGE, 2022).

O clima tropical da região, com altas temperaturas e chuvas concentradas na estação chuvosa, influencia diretamente as atividades produtivas locais, tanto na agricultura quanto na pecuária. A sazonalidade das chuvas, aliada a práticas de manejo inadequado, pode ocasionar problemas de erosão e esgotamento de recursos naturais, exigindo políticas públicas que promovam práticas agrícolas sustentáveis e o manejo eficiente dos recursos naturais. Nesse contexto, a questão ambiental é uma preocupação crescente, especialmente considerando o impacto da expansão da fronteira agrícola sobre as áreas de vegetação nativa e a necessidade de preservar os ecossistemas locais (SIMÕES *et al*., 2017).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2023), destaca a integração de Querência com políticas

estaduais e federais voltadas para a sustentabilidade e o controle da utilização de recursos naturais, sendo estratégias essenciais para o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. A adoção de práticas agrícolas de baixo impacto, como a agricultura de baixo carbono e a utilização de tecnologias sustentáveis, representa uma oportunidade para o município alinhar seu crescimento econômico à conservação do meio ambiente. A busca por um desenvolvimento sustentável também envolve a melhoria na gestão de recursos hídricos e a promoção de um uso mais eficiente da água, essencial para a agricultura irrigada e para o abastecimento da população.

Dessa forma, os aspectos referentes a geografia e as questões socioeconômicas de Querência evidencia a importância do município no cenário regional e nacional, tanto pela sua relevância na produção agrícola e pecuária quanto pelos desafios que enfrenta em relação à preservação ambiental. O equilíbrio entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade será crucial para garantir a qualidade de vida da população e a preservação dos recursos naturais, permitindo que Querência continue a se desenvolver de maneira equilibrada e responsável (SIMÕES *et al.*, 2017).

Modelelagem matemática utilizada: Análise envoltória de dados (DEA)

O modelo de Análise Envoltória de Dados (DEA) foi inicialmente concebido por Debreu (1951), Koopmans (1951) e Farrell (1957) e posteriormente aprimorado por Charnes *et al*. (1978) e Banker *et al*. (1984), resultando no método contemporâneo utilizado atualmente. Os principais modelos desenvolvidos são o CRS (Retornos Constantes de Escala) e o VRS (Retornos Variáveis de Escala). Dependendo da natureza das variáveis analisadas, os modelos podem ser orientados para a Entrada ou para a Saída, resultando em quatro categorias principais: VRS/Entrada, CRS/Saída, VRS/Saída e CRS/Entrada (BANKER *et al*., 1984). Para o estudo em questão, foi adotado o modelo de Retorno Variável em Escala (VRS), com foco em insumos, conforme deduzido por Banker *et al*. (1984). Sua formulação primária, conhecida como Modelo de Multiplicadores, é expressa pela Equação abaixo (Modelo primal VRS dos multiplicadores orientado a input).

$$MIN\ Eff_0 = \sum_{i=1}^{m} u_i y_{io} + u$$

$$sujeito\ a$$

$$\sum_{j=1}^{n} v_j y_{jo} = 1$$

$$\sum_{i=1}^{m} u_i\, y_{ik+u} - \sum_{j=1}^{n} v_j x_{jk} \leq 0, \forall\, k\ para\ k = 1,2, \dots z$$

$$u_i e\ v_j \geq 0, u_i e\ v_j\ \geq 0 i = 1 \dots m, j = 1.., n$$

Sendo:

- peso calculado para o produto i; - peso calculado para o insumo j; - quantidade de insumo j para unidade k; - quantidade do produto i para unidade k;- quantidade de insumo j para unidade em análise;- quantidade de produto i para unidade em análise; *z* - quantidade de DMUs analisadas; *m* - número de tipos de produtos; *n* - número de tipo de insumos; *u* e *v* - coeficiente de retorno de escala (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

Seleção das variáveis de Inputs e Outputs

Os dados utilizados neste estudo foram coletados em duas bases oficiais: o site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para a variável referente ao Produto Interno Bruto (PIB) dos municípios referência para output,e a plataforma Terrabrasilis, mantida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para a variável relacionada ao desmatamento que entrou como input. Enquanto o PIB foi mensurado em valores monetários (reais), representando o desempenho econômico de cada município, o desmatamento foi quantificado em quilômetros quadrados, refletindo a pressão exercida sobre o meio ambiente. Após a coleta, os dados foram organizados em planilhas e devidamente tabulados para possibilitar comparações diretas entre as variáveis econômicas e ambientais.

Neste estudo, o índice de eficiência ambiental foi mensurado por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), adotando-se o modelo VRS (retornos variáveis de escala) com orientação ao *input*. Nessa modelagem, o desmatamento foi considerado como variável de entrada (*input*), enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) foi definido como variável de saída (*output*). Isso significa que o objetivo da análise é verificar em que medida cada unidade (por exemplo, municípios) poderia reduzir seus inputs (neste caso, o desmatamento) mantendo o mesmo nível de output (PIB). A escolha dessas variáveis se fundamenta em trabalhos anteriores que também relacionaram fatores ambientais e econômicos em análises de eficiência, como os estudos de Lin e Li (2023), que empregaram energia, capital, trabalho e emissões de SO_2 como *inputs* e PIB como *output*, e de Camioto e Pulita (2022), que utilizaram emissões de CO_2, uso de energia e taxa de desemprego como *inputs*, e PIB e expectativa de vida como *outputs*. Dessa forma, a presente pesquisa mantém alinhamento metodológico com a literatura internacional ao integrar indicadores de pressão ambiental e desenvolvimento econômico na avaliação da eficiência.

Processamento dos dados

Para o tratamento e análise das informações, utilizou-se o *software* R, dada sua robustez para manipulação de grandes bases de dados e aplicação de métodos estatísticos e econométricos. Ele oferece uma linguagem de programação estatística com uma vasta gama de pacotes para análise estatística pesada, manipulação eficiente de dados, visualização gráfica avançada e modelagem preditiva. O *software* é especialmente valorizado por pesquisadores e estatísticos pela sua capacidade de realizar testes de hipóteses, análises de regressão, simulações computacionais, e por sua comunidade ativa que continuamente desenvolve novos pacotes para facilitar análises complexas (CORRÊA, *et al*., 2019).

No contexto da Análise Envoltória de Dados (DEA), que avalia a eficiência relativa de unidades de decisão (DMUs) com múltiplos insumos e produtos, o R oferece pacotes como "lpSolve" para resolver os problemas de programação linear essenciais ao método (PRESSANHA, *et al*., 2013).

Em R, é possível implementar modelos clássicos de DEA, incluindo os de retornos constantes de escala (CRS) e retornos variáveis de escala (VRS), tanto na forma de multiplicadores quanto de envoltórias, com diferentes orientações (focadas em insumos ou produtos). A análise envolve estruturar os dados de entrada (inputs) e saída (outputs), definir as unidades a serem analisadas, e resolver um problema linear para cada unidade para calcular seu índice de eficiência. Além da eficiência técnica, R possibilita cálculos avançados como supereficiência, análise de correlações, regressões múltiplas e visualização gráfica personalizada dos resultados. Aplicações práticas em avaliações de desempenho de instituições como institutos federais e empresas comprovam a simplicidade, eficácia e utilidade do R para análises gerenciais e científicas com DEA, combinando manipulação robusta de dados e análise aprofundada da eficiência (CARVALHO, *et al*., 2018).

Os dados coletados foram tabulados de maneira sistemática, possibilitando a comparação entre as unidades avaliadas por meio do indicador ambiental, nesse caso o desmatamento, e o indicador econômico (PIB) dentro do contexto analisado. Assim, a metodologia adotada permitiu integrar dimensões econômicas e ambientais em um mesmo modelo analítico, oferecendo uma medida de eficiência ambiental municipal que evidencia a capacidade de conciliar crescimento econômico e conservação ambiental.

RESULTADOS

A aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) revelou heterogeneidade significativa na eficiência técnica dos municípios do nordeste mato-grossense entre 2017 e 2021 conforme evidenciado na Tabela 1 que mostra a estatística descritiva.

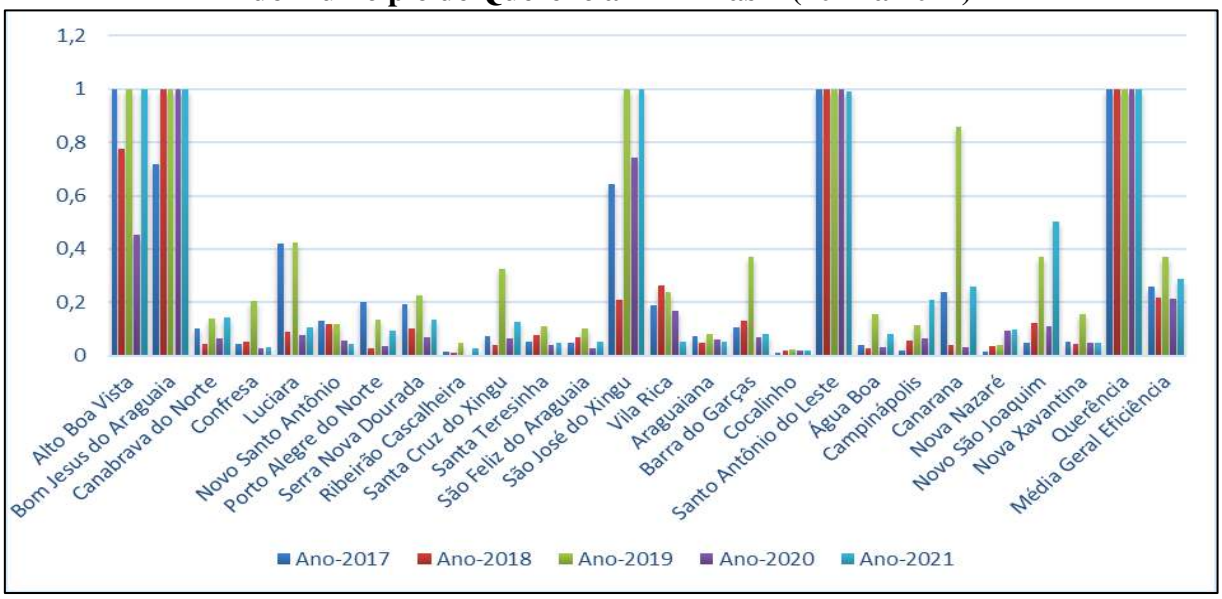
Tabela 1 - Estatística descritiva das eficiências ambientais municipais por ano

Ano	Média Geral	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio-padrão
2017	0,258	0,014 (Ribeirão Cascalheira)	1,000 (Alto Boa Vista; Santo Antônio do Leste)	0,298
2018	0,217	0,012 (Ribeirão Cascalheira)	1,000 (Bom Jesus do Araguaia; Querência; Santo Antônio do Leste)	0,277
2019	0,370	0,024 (Cocalinho)	1,000 (Querência; São José do Xingu; Bom Jesus do Araguaia; Alto Boa Vista)	0,361
2020	0,214	0,002 (Ribeirão Cascalheira)	1,000 (Querência; Santo Antônio do Leste)	0,276
2021	0,288	0,032 (Confresa)	1,000 (Querência; São José do Xingu; Bom Jesus do Araguaia; Alto Boa Vista)	0,325

Fonte: Elaboração própria.

A média regional de eficiência técnica variou entre 0,21 e 0,37, com o pico em 2019 (0,3698) e o menor valor em 2018 (0,2166), sugerindo a influência de fatores conjunturais sobre a capacidade relativa de otimização de recursos e produção de outputs conforme mostrado na tabela 1. Os resultados da análise de eficiência ambiental para os municípios do Vale do Rio Araguaia, no período de 2017 a 2021, são sumarizados no Gráfico 1. Os dados revelam uma trajetória temporal da eficiência, permitindo a comparação intersetorial entre os municípios, com particular ênfase nos valores registrados para Querência-MT.

Gráfico 1 - Resultado da eficiência ambiental do município de Querência-MT-Brasil (2017 a 2021)



Fonte: Elaboração própria.

A avaliação da eficiência relativa dos municípios de Mato Grosso, no período de 2017 a 2021, evidenciou ampla heterogeneidade entre as localidades (Gráfico 1). Em 2017, a média geral foi de 0,258, com destaque para Alto Boa Vista e Santo Antônio do Leste, que atingiram eficiência plena (1,000). Em contrapartida, Ribeirão Cascalheira (0,013) e Cocalinho (0,013) apresentaram os menores desempenhos. No ano seguinte, 2018, a média reduziu para 0,217, mantendo elevado contraste entre os municípios.

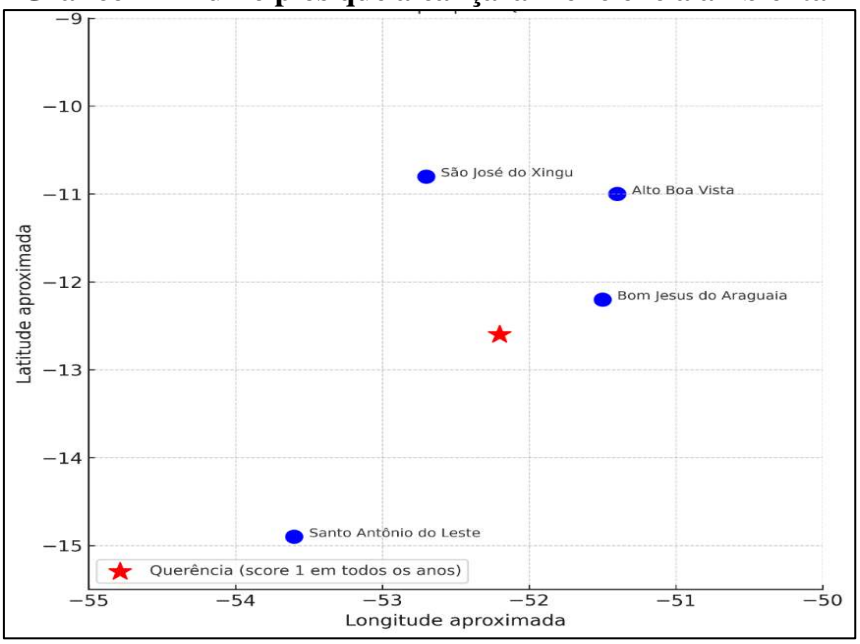
Nesse período, Bom Jesus do Araguaia, Querência e Santo Antônio do Leste registraram eficiência máxima, enquanto Ribeirão Cascalheira (0,012), Água Boa (0,026) e Nova Nazaré (0,034) mantiveram-se entre os piores resultados.

Em 2019, observou-se o melhor desempenho da série histórica, com média de 0,370. Destacaram-se Querência, São José do Xingu, Bom Jesus do Araguaia e Alto Boa Vista, todos com eficiência plena, contrastando com Cocalinho (0,024) e Ribeirão Cascalheira (0,049), que permaneceram em níveis mínimos. Ressalta-se, ainda, a evolução de Canarana (0,856) e Novo São Joaquim (0,371), que apresentaram ganhos expressivos em relação aos anos anteriores.

No ano de 2020, verificou-se queda significativa da média geral para 0,214. Embora Querência e Santo Antônio do Leste tenham mantido desempenho máximo, municípios como Confresa (0,026), Nova Xavantina (0,047) e, especialmente, Ribeirão Cascalheira (0,002) evidenciaram forte ineficiência. Em 2021, ocorreu recuperação parcial, com média de 0,288. Nesse ano, voltaram a se destacar Querência, São José do Xingu, Bom Jesus do Araguaia e Alto Boa Vista, todos com eficiência plena. Por outro lado, municípios como Vila Rica (0,051), Nova Xavantina (0,049) e Confresa (0,032) mantiveram índices reduzidos, enquanto Novo São Joaquim (0,502) e Campinápolis (0,209) apresentaram evolução positiva em comparação aos anos anteriores.

O gráfico 2 mostra a localização de Querência que se destacou pela manutenção de eficiência plena em todos os cinco anos analisados, configurando-se como o município de maior eficiência ambiental, além também da localização de outros municípios que alcançaram eficiência plena em pelo menos um dos períodos avaliados.

Gráfico 2 - Municípios que alcançaram eficiência ambiental



Fonte: Elaboração própria.

A configuração espacial aprestada na Figura 1, mostra a posição geográfica entre os municípios que também alcançaram a eficiência ambiental em determinados anos destaca-se: Santo Antônio do Leste e Bom Jesus do Araguaia que mantiveram eficiência máxima em quatro anos, enquanto Alto Boa Vista apresentou esse resultado em três anos e São José do Xingu em dois anos. Esses municípios se posicionaram na fronteira de eficiência definida pelo modelo DEA, o que indica maior equilíbrio entre proteção ambiental e crescimento econômico.

Dessa forma, os resultados ressaltam a importância do uso da DEA como instrumento estratégico de monitoramento e formulação de políticas ambientais, permitindo:

1. Identificar municípios com baixa eficiência recorrente, demandando ações corretivas específicas.
2. Destacar *benchmarks* regionais, como Querência, que podem servir como referência para replicação de boas práticas.
3. Orientar políticas de longo prazo com base em evidências robustas, contribuindo para reduzir desigualdades regionais e promover avanços sustentáveis.

Sendo assim, a integração entre metodologias robustas (HAJEK; BENDZALA, 2022; LEE; KIM; PARK, 2023), enfoques de ecoeficiência (MOLINOS-SENANTE, *et al*., 2023; EMROUZNEJAD, *et al*., 2023) e análises estruturais comparativas (AGASISTI; PORCELLI, 2023; MUHAMMAD, *et al*., 2022) mostra-se crucial para reduzir disparidades regionais e promover avanços sustentáveis no contexto amazônico.

DISCUSSÃO

Os dados evidenciam variações significativas na eficiência ambiental dos municípios de Mato Grosso, demonstrando a utilidade do modelo DEA como ferramenta de comparação relativa no uso de recursos naturais e na proteção ambiental. No presente estudo, a DEA revelou diferenças estruturais importantes entre municípios, sugerindo que fatores externos como políticas públicas, condições socioeconômicas e características geográficas influenciam fortemente os resultados de eficiência.

Entre os municípios analisados, Querência destacou-se como o único a manter eficiência ambiental plena durante todo o período (2017–2021), refletindo uma otimização consistente do uso de recursos naturais, maior adoção de práticas sustentáveis e alinhamento com as exigências ambientais. Esse resultado guarda relação com estudos internacionais que apontam a DEA como ferramenta robusta para identificar unidades de referência ("*benchmarks*") em sistemas ambientais complexos (HAJEK, BENDZALA, 2022; LEE, KIM, PARK, 2023). A estabilidade de Querência contrasta com a oscilação

acentuada de outros municípios, como Alto Boa Vista e Santo Antônio do Leste, que apresentaram períodos de alta eficiência seguidos de retrações, sugerindo menor constância na gestão ambiental.

Observa-se que a maioria dos municípios não atingiu eficiência plena, corroborando a literatura internacional. Em diferentes contextos, melhorias graduais na eficiência ambiental têm sido registradas sem que a totalidade das unidades avaliadas alcance níveis ótimos. Isso confirma que a eficiência plena tende a estar concentrada em uma elite institucional e produtiva, com maior capacidade de inovação e adaptação, enquanto regiões estruturalmente fragilizadas permanecem em ciclos de baixa eficiência. Casos como Ribeirão Cascalheira, Cocalinho e Confresa, com escores persistentemente inferiores a 0,1, exemplificam esse padrão de ineficiência recorrente. Esse fenômeno é consistente com os resultados de Agasisti, Porcelli, (2023), que identificaram grande heterogeneidade na eficiência de governos locais italianos, sugerindo que desigualdades estruturais podem limitar a efetividade das políticas ambientais.

Por outro lado, municípios intermediários, como Canarana e Novo São Joaquim, apresentaram avanços expressivos em anos específicos, alcançando escores de 0,856 (2019) e 0,502 (2021), respectivamente. Esse comportamento se aproxima dos achados de Tavares *et al*. (2023), ao avaliarem transformações digitais nos países da União Europeia, evidenciando trajetórias não lineares de eficiência, condicionadas a fatores conjunturais e estruturais. Da mesma forma, Fallahiare-Zoudar *et al*. (2022), ao analisarem o desempenho ambiental de estações de tratamento de esgoto na Malásia, identificaram oscilações temporais relacionadas a mudanças regulatórias e investimentos pontuais, o que ajuda a explicar as variações nos municípios mato-grossenses.

O aumento da eficiência observado em 2019, seguido de quedas subsequentes, pode estar associado a fatores conjunturais de governança ambiental, maior fiscalização ou implementação de políticas específicas naquele período. Esse padrão encontra respaldo em Molinos-Senante *et al*. (2023), que verificaram variações semelhantes na ecoeficiência da gestão de resíduos sólidos em municípios espanhóis, destacando a relevância de políticas públicas estáveis e de longo prazo para sustentar ganhos de eficiência. Além disso, Emrouznejad *et al*. (2023) argumentam que o uso da DEA orientada à ecoeficiência, com inclusão de metas de NetZero, amplia a capacidade de monitoramento contínuo e de avaliação integrada, fornecendo subsídios estratégicos para evitar retrocessos ambientais.

A análise comparativa ainda demonstra que a eficiência plena de municípios como Querência, Bom Jesus do Araguaia e São José do Xingu reflete não apenas robustez estrutural e estabilidade administrativa, mas também capacidade de absorver novas tecnologias e adaptar-se às mudanças externas. Esse cenário é consistente com os resultados de Muhammad *et al*. (2022), que mostraram que regiões com estrutura econômica mais diversificada e maior peso do setor terciário alcançam melhores níveis de eficiência ambiental. Em paralelo, estudos nacionais recentes, como o de Zanella, Oliveira, (2025),

confirmam que a aplicação de funções de distância direcionais em DEA permite mensurar de forma mais precisa a ecoeficiência urbana, reforçando a importância de metodologias avançadas para lidar com heterogeneidades espaciais.

A Análise Envoltória de Dados (DEA) tem se consolidado como uma ferramenta robusta para transformar resultados de eficiência em referências estratégicas para políticas públicas e gestão ambiental. Estudos internacionais, como Chioatto *et al*. (2024), demonstram que regiões da União Europeia mais eficientes em gestão de resíduos funcionam como modelos para localidades que enfrentam desafios estruturais, evidenciando que a identificação de unidades benchmark vai além do diagnóstico, orientando diretamente planos de ação e políticas corretivas. Esse papel de "farol metodológico" pode ser claramente observado em Querência, município que se tornou referência positiva na região amazônica, historicamente marcada pelo desmatamento.

A experiência de Querência também mostra que *benchmarking* não é estático, mas um processo dinâmico e adaptativo. Conforme apontam Xue *et al*. (2022), setores consumidores de energia melhoram seu desempenho apenas quando acompanham continuamente a evolução da fronteira eficiente. Em Querência, esse ajuste contínuo foi viabilizado por políticas públicas consistentes, como o projeto "Querência +: Paisagens Sustentáveis", que promoveu retroalimentação entre práticas ambientais e resultados de eficiência, consolidando o município como exemplo de gestão adaptativa.

Além disso, benchmarks devem ser compreendidos não apenas como exemplos isolados, mas como instrumentos de cooperação territorial. No Brasil, a heterogeneidade municipal demanda a criação de redes de aprendizagem, nas quais municípios mais eficientes disseminam boas práticas para localidades com menor desempenho (COSTA; DIAS; ROBAINA, 2024). Nesse contexto, Querência atua como polo de transferência de conhecimento, reforçando a relevância da DEA para identificar, legitimar e replicar referências regionais de sustentabilidade.

A versatilidade da DEA é evidente em sua aplicação em setores diversos, como portos, transportes e economia regional. Krmac e Mansouri Kaleibar (2023) reforçam que a DEA permite identificar gargalos de infraestrutura e reconhecer unidades de alto desempenho como referências estratégicas. Essa abordagem pode ser transposta para o contexto amazônico, em que Querência atua como um "porto seguro" de práticas ambientais a serem replicadas.

Koengkan *et al.* (2022) demonstram que a DEA combinada com fronteira estocástica consegue lidar com diferenças estruturais significativas entre unidades de análise, tornando-a particularmente útil em contextos heterogêneos como o amazônico. Querência confirma que, mesmo diante de desafios socioeconômicos, altos índices de eficiência são alcançáveis quando políticas integradas e monitoramento contínuo são aplicados.

Queiroz Júnior *et al.* (2024) evidenciam que a DEA é capaz de capturar desigualdades regionais e orientar políticas específicas para reduzir disparidades. Assim, a experiência de Querência não apenas evidencia conquistas locais, mas também oferece caminhos replicáveis para municípios com baixa eficiência ambiental, contribuindo para a redução de desigualdades territoriais.

Governança Ambiental e Políticas Públicas município de Querência-MT

O caso de Querência reforça que eficiência ambiental só se consolida com governança eficaz e políticas consistentes. A DEA, ao identificar benchmarks, fornece base técnica para formulação de políticas públicas direcionadas e estratégicas. Amirteimoori *et al*. (2024) defendem que a melhoria de unidades de decisão depende de mecanismos sistemáticos de avaliação, alinhando-se ao monitoramento contínuo adotado em Querência.

Zhu (2022) destaca a importância da DEA em ambientes de *big data*, sugerindo que a inteligência analítica derivada de informações sobre eficiência deve orientar políticas de longo prazo. Querência ilustra essa prática ao integrar monitoramento ambiental, dados de satélites e informações locais para estruturar suas estratégias de conservação, consolidando uma gestão baseada em evidências.

Finalmente, estudos nacionais e internacionais (QUEIROZ JÚNIOR *et al*., 2024; KOENGKAN *et al*., 2022) indicam que políticas de sustentabilidade devem considerar as especificidades de cada território. Querência demonstra que é possível alinhar controle do desmatamento com estratégias de desenvolvimento econômico local, como certificação agrícola e turismo ecológico. Dessa forma, a DEA não apenas avalia desempenho, mas sustenta decisões políticas transformadoras, promovendo avanços reais na sustentabilidade territorial.

A experiência de Querência também mostra a importância da integração multinível da governança. Conforme argumentam Lee, Kim e Park (2023), estratégias ambientais mais eficazes emergem quando políticas locais se articulam com agendas regionais, nacionais e globais. No caso mato-grossense, o município conseguiu alinhar suas ações de combate ao desmatamento com compromissos internacionais de mitigação climática, reforçando que políticas locais podem ter repercussões globais quando inseridas em redes de cooperação transnacional.

Outro aspecto central é a inovação institucional associada à participação social. Hajek e Bendzala (2022) ressaltam que políticas ambientais duradouras dependem do engajamento de múltiplos atores, incluindo sociedade civil, setor produtivo e instituições científicas. Em Querência, a participação comunitária em projetos de sustentabilidade, aliada ao uso de tecnologias de monitoramento, fortaleceu a legitimidade das políticas públicas e reduziu resistências sociais, estabelecendo um ciclo virtuoso de

governança participativa.

Conforme defendem Schmitz *et al*. (2025), a replicação de experiências de governança territorial em hotspots de biodiversidade é fundamental para enfrentar os desafios globais da mudança climática. Nesse sentido, Querência consolida-se como exemplo internacional de que políticas públicas baseadas em evidências, associadas à participação social e inovação institucional, podem transformar contextos vulneráveis em modelos de sustentabilidade replicáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) revelou contrastes marcantes na eficiência ambiental entre os municípios do Vale do Rio Araguaia no período de 2017 a 2021. Os resultados mostraram médias anuais relativamente baixas (entre 0,21 e 0,37), indicando dificuldades estruturais na conciliação entre crescimento econômico e conservação ambiental. Municípios como Ribeirão Cascalheira, Cocalinho e Confresa apresentaram desempenhos sistematicamente reduzidos, refletindo fragilidades institucionais e socioeconômicas. Em contraposição, Querência destacou-se como caso singular de estabilidade, alcançando eficiência plena (score = 1,000) em todos os cinco anos avaliados. Esse desempenho consistente evidencia a eficácia de estratégias integradas de governança ambiental, monitoramento contínuo do desmatamento e articulação entre governo local, setor produtivo e sociedade civil, com destaque para iniciativas como o projeto “Querência +: Paisagens Sustentáveis”.

Os achados reforçam que a eficiência ambiental não é um fenômeno aleatório, mas sim resultado direto de práticas de gestão territorial baseadas em planejamento estratégico, inovação institucional e engajamento coletivo. Nesse sentido, a experiência de Querência fornece evidências empíricas relevantes para o debate internacional sobre sustentabilidade em fronteiras agrícolas, mostrando que é possível conciliar competitividade econômica com preservação de ecossistemas frágeis, mesmo em contextos de forte pressão antrópica.

Como agenda para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação da análise para outros biomas brasileiros e regiões de fronteira agrícola global, com incorporação de variáveis sociais, institucionais e climáticas, de modo a aprofundar a compreensão dos fatores que condicionam a eficiência ambiental em diferentes escalas territoriais. Estudos comparativos entre municípios ou países podem contribuir para identificar padrões replicáveis e ampliar o alcance da metodologia DEA como ferramenta de formulação de políticas ambientais. Apesar da relevância dos achados, o estudo apresenta limitações inerentes à disponibilidade e abrangência dos dados utilizados. As informações foram restritas a bases secundárias oficiais disponíveis para o acesso público.

Em síntese, a trajetória de Querência demonstra que políticas públicas consistentes, associadas a mecanismos de monitoramento e participação social, são capazes de transformar contextos de vulnerabilidade em referências positivas de sustentabilidade. Os resultados apresentados oferecem contribuições práticas e teóricas para o campo da eficiência ambiental, reforçando a relevância da DEA como instrumento de benchmarking territorial e de suporte à tomada de decisão. Dessa forma, o município consolida-se não apenas como modelo regional, mas também como evidência internacional de que a integração entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental é viável, necessária e replicável.

REFERÊNCIAS

AGASISTI, T.; PORCELLI, F. "Eficiência dos governos locais e sua heterogeneidade – evidências empíricas de uma análise de fronteira estocástica de municípios italianos 2010-2018". **Economia Aplicada**, vol. 55, n. 25, 2023.

AMIRTEIMOORI, A. *et al*. "Improving decision-making units in performance analysis methods: a data envelopment analysis approach". **Mathematical Sciences**, vol. 18, n. 3, 2024.

ARAUJO, A. S. F. *et al*. "Ecosystem functions in different physiognomies of Cerrado through the Rapid Ecosystem Function Assessment (REFA)". **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, vol. 94, 2022.

ASSIS, P. C.; FARIA, K. M. S.; BAYER, M. "Conservation units and their effectiveness in protecting water resources in the Araguaia River Drainage Basin". **Sociedade e Natureza**, vol. 34, 2021.

BANKER, R. D. *et al*. "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis". **Management Science**, vol. 30, n. 9, 1984.

BRASIL. **TerraBrasilis**: monitoramento do desmatamento. Brasília: INPE, 2022. Disponível em: <www.inpe.gov.br>. Acesso em: 21/04/2025.

CAMIOTO, F. C.; PULITA, A. C. "Efficiency evaluation of sustainable development in BRICS and G7 countries: a Data Envelopment Analysis approach". **Gestão e Produção**, vol. 29, 2022.

CARVALHO, L. F. *et al*. "Using Software R in research in occupational therapy". **Revista Latino-Americana de Terapia Ocupacional**, vol. 27, 2018.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. "Measuring the efficiency of decision-making units". **European Journal of Operational Research**, vol. 2, 1978.

CHEN, Y. *et al*. "Environmental performance of China's economic system: integrative perspective of efficiency and productivity". **Technological and Economic Development of Economy**, vol. 28, 2022.

CHIOATTO, E. *et al*. "Testing data envelopment analysis models on the performance of European Union regions in sustainable waste management". **Waste Management**, vol. 175, 2024.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis**: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software. London: Kluwer Academic Publishers, 2007.

CORRÊA, A. C. *et al*. "Análise Envoltória de Dados com apoio do software R: uma aplicação nos Institutos Federais". **Revista de Engenharia e Tecnologia**, vol. 11, n. 2, 2019.

COSTA, I.; DIAS, M. F.; ROBAINA, M. "Evaluation of the efficiency of urban solid waste management in Brazil by data envelopment analysis and possible variables of influence". **Waste Disposal and Sustainable Energy**, vol. 6, n. 2, 2024.

CRUZ, C. M. B. *et al*. "Parques tecnológicos e inovação no Brasil: uma análise da produção científica". **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, vol. 9, n. 27, 2022.

CUNHA, J. E. F.; BRAVO, J. V. M. "Effects of environmental protection policies on fragile areas of a watershed occupied by agriculture in the Brazilian Cerrado". **Journal of Environmental Management**, vol. 36, 2022.

DEBREU, G. "The coefficient of resource utilization". **Econometrica**, vol. 19, 1951.

EMROUZNEJAD, A. *et al*. "Eco-efficiency considering NetZero and data envelopment analysis: a critical literature review". **IMA Journal of Management Mathematics**, vol. 34, n. 4, 2023.

FALLAHIARE-ZOUDAR, E. *et al*. "An eco-environmental efficiency analysis of Malaysia sewage treatment plants: An incorporated window-based data envelopment analysis and ordinary least square regression". **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 29, n. 25, 2022.

FARRELL, M. J. "The measurement of productive efficiency". **Journal of the Royal Statistical Society**, vol. 120, 1957.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. "Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados". **Cadernos EBAPE.BR**, vol. 14, n. 3, 2017.

FOROUDI, P. *et al*. "Sustainable Development Goals in a regional context: conceptualising, measuring and managing residents' perceptions". **Regional Studies**, vol. 59, 2024.

HAJEK, P.; BENDZALA, J. "Efficiency evaluation of public service providers using advanced DEA models in R: A tutorial". **Socio-Economic Planning Sciences**, vol. 82, 2022.

HALKOS, G. E.; ASLANIDIS, P. S. C. "New circular economy perspectives on measuring sustainable waste management productivity". **Journal of Cleaner Production**, vol. 398, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e estados**. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 21/04/2025.

IMEA - Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária. **Relatório de Produção Agrícola 2023**. Cuiabá: IMA, 2024. Disponível em: <www.imea.com.br>. Acesso em: 28/03/2025.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. "A conservação do cerrado brasileiro". **Megadiversidade**, vol. 1, n. 1, 2005.

KOENGKAN, M. *et al*. "Measuring the economic efficiency performance in Latin American and Caribbean countries: An empirical evidence from stochastic production frontier and data envelopment analysis". **International Economics**, vol. 169, 2022.

KOOPMANS, T. C. "An analysis of production as an efficient combination of activities". *In*:

KOOPMANS, T. C. **Activity Analysis of Production and Allocation**. New York: Wiley, 1951.

KRMAC, E.; MANSOURI KALEIBAR, M. "A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) methodology in port efficiency evaluation". **Maritime Economics and Logistics**, vol. 25, 2023.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. "Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil". **Zeitschrift für Geomorphologie**, vol. 129, 2002.

LEE, J.; KIM, D.; PARK, S. "A hybrid DEA approach for evaluating the sustainability efficiency of financial institutions". **Journal of Cleaner Production**, vol. 398, 2023.

LI, H. *et al*. "Regional environmental efficiency evaluation in China: analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs". **Mathematical and Computer Modelling**, vol. 58, n. 5, 2013.

LIMA-JUNIOR, D. P. *et al*. "Exploring the relationship between land-use and pesticides in freshwater ecosystem: A case study of the Araguaia River Basin, Brazil". **Environmental Advances**, vol. 43, 2024.

LIN, R.; LI Z. "Intertemporal environmental efficiency assessment in China: A new network-based dynamic super-efficiency measure". **PLoS ONE**, vol. 18, 2023

MAJID, S. *et al*. "Eco-Efficiency, Environmental and Sustainable Innovation in Recycling Energy and Their Effect on Business Performance: Evidence from European SMEs". **Sustainability**, vol. 15, 2023.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. "Índices de desenvolvimento sustentável para localidades: uma proposta metodológica de construção e análise". **Revista de Gestão Social e Ambiental**, vol. 6, 2012.

MELO, A. C. A. *et al*. "Susceptibilidade à erosão, perda de solo e vulnerabilidade natural na bacia do Médio Rio Araguaia – Brasil". **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 16, n. 6, 2023.

MELO, L. F. S. *et al*. "Os caminhos da sustentabilidade no Brasil: estudo de caso baseado em indicadores de sustentabilidade". **Revista Observatório de La Economia Latinoamericana**, vol. 22, n. 1, 2024.

MIKHAILOVA, I. "Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática". **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, 2004.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Políticas Públicas para o Meio Ambiente**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2023. Disponível em: <www.mma.gov.br>. Acesso em: 21/04/2025.

MOLINOS-SENANTE, M. *et al*. "The eco-efficiency of municipalities in the recycling of solid waste: A stochastic semi-parametric envelopment of data approach". **Waste Management and Research**, vol. 41, n. 5, 2023.

MUHAMMAD, S. *et al*. "Industrial structure, energy intensity and environmental efficiency across developed and developing economies: The intermediary role of primary, secondary and tertiary industry". **Energy**, vol. 247, 2022.

MYERS, N. *et al*. "Biodiversity hotspots for conservation priorities". **Nature**, vol. 403, 2000.

NASCIMENTO, P. H. S.; NAVARRO, F. K. S. P.; DUTRA, R. M. S. "A percepção do bioma cerrado por estudantes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Brasil". **Brazilian Journal of Development**, vol. 9, 2023.

NASEER, M. M. *et al*. "Sustainable development goals and environmental performance: Exploring the contribution of governance, energy, and growth". **Research in International Business and Finance**, vol. 73, 2025.

OLIVEIRA, D. R. *et al*. "Environmental Efficiency of Municipalities in the Araguaia River Valley in The State of Mato Grosso, Brazil: An Approach Via Data Envelopment Analysis". **Revista de Gestão Social e Ambiental**, vol. 18, n. 11, 2024.

PESSANHA, J. F. M. *et al*. "Implementando modelos DEA no R". **Gestão e Tecnologia para a Competitividade**, vol. 10, 2013.

PIÑA, W. H. A.; MARTÍNEZ, C. I. P. "Development and urban sustainability: An analysis of efficiency using data envelopment analysis". **Sustainability**, vol. 8, n. 148, 2016.

PISANI, J. A. "Sustainable development – historical roots of the concept". **Environmental Sciences**, vol. 3, n. 2, 2006.

QUEIROZ JÚNIOR, H. S. *et al*. "Evaluating sustainable efficiency: A study on transportation systems in South America using data envelopment analysis". **Latin American Transport Studies**, vol. 2, 2024.

RAMIREZ, M. A.; LIZARAZO, I. "Geographic perspectives on sustainability: Towards a conceptual framework". **Environmental Development**, vol. 53, 2025.

RELLA, A.; RAIMO, N.; VITOLLA, F. "A two-stage data envelopment analysis approach to measure waste management efficiency within Italian municipalities". **Social Responsibility Journal**, vol. 21, n. 5, 2025.

SAJJAD, A.; EWEJE, G.; RAZIQ, M. M. "Sustainability leadership: An integrative review and conceptual synthesis". **Business Strategy and the Environment**, vol. 33, 2024.

SCHMITZ, M. H. *et al.* Unsustainable land use trajectories in the Tocantins/Araguaia basin: Insights from future scenario modeling. **Ambio**, vol. 54, 2025.

SHEN, Z. *et al*. "Integrating economic, environmental and societal performance within the productivity measurement". **Technological Forecasting and Social Change**, vol. 177, 2022.

SILVA, D. F. *et al*. "Direitos Humanos, Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade". **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, vol. 10, n. 1, 2015.

SILVA, L. A. *et al.* "Políticas Públicas Voltadas para a Redução dos Focos de Calor em Unidades de Conservação e Áreas Indígenas: o caso do bioma cerrado". **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 15, n. 4, 2022.

SIMÕES, C. G. *et al.* **Querência+**: paisagens sustentáveis. Belém: IPAM, 2017.

SOUZA, R. F. *et al*. "Agricultura no cerrado e impactos ambientais decorrentes". **Revista Observatório De La Economia Latinoamericana**, vol. 21, n. 12, 2023.

STORTO, C. "Measuring the eco-efficiency of municipal solid waste service: A fuzzy DEA model for handling missing data". **Utilities Policy**, vol. 86, 2024.

TAVARES, A. C. *et al*. "The Use of the Data Envelopment Analysis Malmquist Approach to Measure the Performance of Digital Transformation in EU Countries". **Economies**, vol. 12, n. 11, 2023.

TAWIAH, V. *et al*. "Blockchain technology and environmental efficiency: Evidence from US-listed firms". **Business Strategy and the Environment**, vol. 15, 2022.

TEIXEIRA, A. S. *et al*. "Evidence of water surface and flow reduction in the main hydrographic basin of the Brazilian savannah (Cerrado biome): the Araguaia river". **Hydrobiologia**, vol. 851, 2024.

WANG, H. *et al.* "Sustainable performance analysis and environmental protection optimization of green entrepreneurship-driven energy enterprises". **Humanities and Social Sciences Communications**, vol. 104, 2025.

WU, L. *et al.* "The impact of eco-innovation on environmental performance in different regional settings: new evidence from Chinese cities". **Environment, Development and Sustainability**, vol. 27, 2024.

XIAOPING, Z.; YUANFANG, L; WENJIA, W. "Evolution of urban resource and environmental efficiency in China based on the DEA model". **Journal of Resources and Ecology**, vol. 5, n. 1, 2014.

XUE Y. *et al*. "Environmental Performance Assessment of Energy-Consuming Sectors Through Novel Data Envelopment Analysis". **Frontiers in Energy Research**, vol. 9, 2022.

YANG, C. *et al*. "Environmental efficiency evaluation method based on data envelopment analysis and improved neural network". **Hindawi – Mobile Information Systems**, vol. 41, 2021.

ZANELLA, A.; OLIVEIRA, R. "Avaliação da ecoeficiência urbana de municípios brasileiros com base em funções de distância direcionais". **Revista de Modelagem em Gestão**, vol. 23, 2025.

ZHU, J. "DEA under big data: Data enabled analytics and network data envelopment analysis". **Annals of Operations Research**, vol. 309, n. 2, 2022.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VII | Volume 23 | Nº 68 | Boa Vista|2025

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima