

IX SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA

XXVII Semana de Iniciação Científica da URCA

04 a 08 de NOVEMBRO de 2024

Tema: "CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE: MÚLTIPLOS SABERES E FAZERES"



ECOEFIÊNCIA NAS REGIÕES BRASILEIRAS: UMA ABORDAGEM TEMPORAL (2000-2020)

Maria Avyla Batista da Silva¹, Manoel Alexandre de Lucena², Eliane Pinheiro de Sousa³

Resumo: A ecoeficiência é uma ferramenta que integra eficiência econômica e ambiental. No Brasil, a ecoeficiência varia regionalmente devido à sua diversidade socioeconômica e ambiental. Assim, este trabalho mensura os escores de ecoeficiência das cinco regiões brasileiras (Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul) entre os anos de 2000 a 2020. Para tal, utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), que consiste em uma ferramenta não paramétrica, permitindo a análise de múltiplas entradas e saídas. Neste estudo, aplicou-se o modelo DEA-CCR com análise de janela (WA), com retornos constantes à escala e orientação ao insumo. A base de dados em painel contempla as cinco regiões brasileiras ao longo de duas décadas, com variáveis de entrada referentes à formação bruta de capital fixo, área florestal e empregos formais, e variáveis de saída, as emissões de CO₂ (indesejável) e o PIB (desejável). Os resultados indicaram que o Sul detém a maior ecoeficiência média. O Nordeste e o Sudeste também expõem boas práticas no decorrer dos anos, porém o Centro-Oeste e o Norte registram padrões recessivos.

Palavras-chave: Ecoeficiência. Análise Envoltória de Dados. Regiões brasileiras.

1. Introdução

Desde a Revolução Industrial, o desafio de equilibrar desenvolvimento econômico e preservação ambiental se intensificou com o agravamento das mudanças climáticas e a escassez de recursos. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para enfrentar esses desafios, destacando o ODS 13, que visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Embora a preocupação com a sustentabilidade seja recente, economistas neoclássicos passaram a considerar a questão ambiental a partir da década de 1980, com destaque para o conceito de desenvolvimento sustentável e ecoeficiência (Caiado *et al.*, 2017).

A ecoeficiência é uma ferramenta que integra eficiência econômica e ambiental. Conforme Silva *et al.* (2022), o conceito está diretamente relacionado ao desenvolvimento sustentável e é largamente adotado como uma estratégia para alinhar crescimento econômico com preservação ambiental, ou seja, a ecoeficiência tem relação direta com o conceito de sustentabilidade. A literatura acerca do tema tem consagrado a importância da mensuração dos escores de

¹ Universidade Regional do Cariri, email: avyla.batista@urca.br

² Universidade Federal do Cariri, email: manoelalex123@gmail.com

³ Universidade Regional do Cariri, email: eliane.pinheiro@urca.br

IX SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA

XXVII Semana de Iniciação Científica da URCA

04 a 08 de NOVEMBRO de 2024

Tema: "CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE: MÚLTIPLOS SABERES E FAZERES"



ecoeficiência para nortear a formulação de políticas públicas mais eficazes que evidenciem as diferenças regionais (Olaya *et al.*, 2023; Ren *et al.*, 2020).

No Brasil, a ecoeficiência varia regionalmente devido à sua diversidade socioeconômica e ambiental, influenciada por recursos naturais, desenvolvimento econômico e políticas públicas (Suzigan, 2020). Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024), grande parte das emissões de gases de efeito estufa no país é causada pelo desmatamento, com o Centro-Oeste liderando as emissões, seguido pelo Norte, Sudeste, Nordeste e Sul. O *World Resources Institute* (WRI, 2024) destaca que a transição para uma economia de baixo carbono exige estratégias de longo prazo integradas às atividades econômicas.

2. Objetivo

O presente trabalho propõe mensurar os escores de ecoeficiência das cinco regiões brasileiras (Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul) entre os anos de 2000 a 2020.

3. Metodologia

Para mensurar os escores de ecoeficiência nas cinco regiões brasileiras, utilizou-se a Análise Envoltória de Dados (DEA), desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) buscando avaliar a ecoeficiência relativa das unidades de tomada de decisão (DMUs) (Silva *et al.*, 2022). Ren *et al.* (2020) definem a DEA como uma ferramenta não paramétrica que mede a eficiência (e ecoeficiência) pela proximidade à fronteira de produção, permitindo a análise de múltiplas entradas e saídas. Neste estudo, aplicou-se o modelo DEA-CCR com análise de janela (WA), que considera retornos constantes à escala (CCR) e se orienta para insumos.

A base de dados em painel contempla as cinco regiões brasileiras ao longo de duas décadas (2000 a 2020), com variáveis divididas em *inputs* e *outputs*. A periodicidade é atribuída à disponibilidade das informações para o conjunto de variáveis. As entradas incluem a formação bruta de capital fixo, a área florestal e empregos formais, enquanto as saídas compreendem as emissões de CO₂ (indesejável) e o PIB (desejável). A escolha das variáveis foi baseada em Gama (2022) e Moutinho e Madaleno (2021). Os dados para a formação bruta de capital fixo foram colhidos no Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2024), sendo que, para as regiões, o cálculo da ponderação foi realizado baseado nos estudos de Borba (2020) e Santos *et al.* (2012). A área florestal foi obtida de informações do Serviço Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2024) e os empregos formais colhidos na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS, 2024). Ademais, as duas últimas variáveis foram provenientes, respectivamente, do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024); e do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2024).

IX SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA

XXVII Semana de Iniciação Científica da URCA

04 a 08 de NOVEMBRO de 2024

Tema: "CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE: MÚLTIPLOS SABERES E FAZERES"



Em virtude de particularidades metodológicas, a técnica INP foi empregada, desse modo, a saída indesejada é incorporada como uma entrada, a fim de ser reduzida. Em conclusão, a operacionalização e os resultados apresentados foram elaborados em linguagem *Python* por meio da biblioteca *pyStoNED*.

4. Resultados

A Tabela 1 mostra a ecoeficiência média das regiões brasileiras entre os anos de 2000 a 2020. A análise, por incorporar séries temporais, utilizou janelas de tamanho e quantidades iguais a 11. Os escores de ecoeficiência variam de 0 a 1, com valores próximos a 1 indicando melhores práticas. Os resultados indicaram que a região Sul obteve a melhor performance na redução do impacto ambiental e promoção do crescimento econômico, quando se compara as janelas finais com as iniciais, seguida pelas regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Norte.

Tabela 1: Ecoeficiência média das regiões brasileiras entre 2000 e 2020

Região	Janela										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sul	0,19	0,18	0,29	0,51	0,82	0,82	0,80	0,83	0,75	0,62	0,71
Nordeste	0,84	0,80	0,63	0,60	0,84	0,81	0,39	0,10	0,14	0,21	0,37
Sudeste	0,89	0,66	0,26	0,15	0,22	0,44	0,55	0,41	0,53	0,78	0,75
Centro-Oeste	0,37	0,58	0,82	0,78	0,58	0,54	0,67	0,33	0,23	0,13	0,13
Norte	0,60	0,66	0,87	0,74	0,33	0,14	0,20	0,28	0,38	0,45	0,49

Notas: janela 1 (2000-2010); janela 2 (2001-2011); janela 3 (2002-2012); janela 4 (2003-2013); janela 5 (2004-2014); janela 6 (2005-2015); janela 7 (2006-2016); janela 8 (2007-2017); janela 9 (2008-2018); janela 10 (2009-2019); janela 11 (2010-2020).

Fonte: elaboração própria (2024).

Ao acompanhar a distribuição dos dados nas janelas, constata-se que, na região Sul, os escores apresentam um crescimento consistente ao longo dos anos, elucidados pelos altos níveis de desenvolvimento sustentável da região como consequência da relação parcimoniosa entre variáveis socioeconômicas e ambientais (Bianco; Lima; Morejon, 2016). De modo semelhante, o Nordeste e o Sudeste possuem comportamentos harmoniosos, ressalvadas algumas oscilações, todavia, a segunda região tem demonstrado crescimento contínuo nas quatro últimas janelas, à medida que a primeira se comporta de modo contrário. Tais inferências podem ser explicadas em virtude da significativa disparidade entre as regiões, tanto no que diz respeito à infraestrutura, diversificação e desenvolvimento tecnológico, como na qualificação e adoção de políticas públicas (Suzigan, 2020).

Por conseguinte, a região Centro-Oeste expõe um comportamento recessivo dos escores de ecoeficiência ao longo dos anos, com piora nos anos

IX SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA

XXVII Semana de Iniciação Científica da URCA

04 a 08 de NOVEMBRO de 2024

Tema: "CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE: MÚLTIPLOS SABERES E FAZERES"



mais recentes, principalmente afetado pelo alargamento das atividades do agronegócio que, apesar de elevarem o produto econômico, afetam direta e negativamente as externalidades sobre o meio ambiente (Souza *et al.*, 2023). Na região Norte, entre a primeira e a sexta janela, há significativa redução, mas com ascensão discreta recuperada nas janelas mais recentes. Malgrado seja a região com maior biodiversidade e potencial de crescimento sustentável do país, gargalos estruturais são enfrentados em virtude da cultura do desmatamento e da ausência de incentivos à diversificação econômica (Silva *et al.*, 2022).

5. Conclusão

Neste estudo, objetivou-se mensurar a ecoeficiência das regiões brasileiras entre os anos de 2000 a 2020. Os resultados obtidos apontam que a região Sul apresenta a maior ecoeficiência média, ademais, as regiões Nordeste e Sudeste também expõem boas práticas no decorrer dos anos. Todavia, regiões como Centro-Oeste e Norte apresentam padrões recessivos, sugerindo declínio nas atividades sustentáveis. Em suma, a análise conduzida permitiu observar as nuances entre as cinco regiões do país, concluindo que a promoção do desenvolvimento sustentável necessita de avanços, de modo que a relação entre o uso dos recursos naturais e os impactos ambientais seja otimizada.

6. Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa (PRPGP) da Universidade Regional do Cariri (URCA).

7. Referências

BORBA, T. S. **Índice de formação bruta de capital fixo para a agropecuária catarinense 2006-2018**. 2020. 61f. TCC (Graduação em Economia) - Centro Sócio-Econômico - Universidade Federal de Santa Catarina. 2020.

CAIADO, R. G. G.; DIAS, R. F.; MATTOS, L. V.; QUELHAS, O. L. G.; LEAL FILHO, W. Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 890-904. 2017.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444. 1978.

GAMA, T. G. V. **Ensaio sobre ecoeficiência agropecuária no Brasil e na Amazônia Legal**. 2022. 77 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

IX SEMANA UNIVERSITÁRIA DA URCA

XXVII Semana de Iniciação Científica da URCA

04 a 08 de NOVEMBRO de 2024

Tema: "CIÊNCIA, TECNOLOGIA E AMBIENTE: MÚLTIPLOS SABERES E FAZERES"



INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Dados. **Ipeadata**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 15 de out. de 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). **Produto Interno Bruto dos Municípios - 2021**. 2024. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic>. Acesso em: 15 de out. de 2024.

MOUTINHO, V.; MADALENO, M. Assessing Eco-Efficiency in Asian and African Countries Using Stochastic Frontier Analysis. **Energies**, v. 14, p. 1-17. 2021. DOI: [10.3390/en14041168](https://doi.org/10.3390/en14041168).

OLAYA, W. R. C.; ARAÚJO, V. W. S.; OLIVEIRA, R. M. S.; ZANELLA, A. Avaliação da ecoeficiência no transporte público dos estados brasileiros: um estudo baseado na abordagem Benefit of the Doubt em Data Envelopment Analysis. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 16, e16002, p. 1-18, 2023. DOI: [10.4322/PODes.2023.002](https://doi.org/10.4322/PODes.2023.002).

RELAÇÃO ANNUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS – RAIS. Bases Estatísticas da RAIS e CAGED. **RAIS vínculos**. Disponível em: <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/rais.php>. Acesso em: 15 de out. de 2024.

REN, W.; ZHANG, Z.; WANG, Y.; XUE, B.; CHEN, X. Measuring regional ecoefficiency in China (2003–2016): A “Full World” Perspective and Network Data Envelopment Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, p. 1-15. 2020. DOI: [10.3390/ijerph17103456](https://doi.org/10.3390/ijerph17103456).

SANTOS, C. H.; ORAIR, R. O.; GOBETTI, S. W.; FERREIRA, A. S.; ROCHA, W. S.; SILVA, H. L. D.; BRITTO, J. M. Estimativas mensais da formação bruta de capital fixo pública no Brasil (2002-2010). **Economia Aplicada**, v. 16, p. 445-473. 2012. DOI: [10.1590/S1413-80502012000300005](https://doi.org/10.1590/S1413-80502012000300005).

SILVA, J. V. B.; ROSANO-PEÑA, C.; MARTINS, M. M. V.; TAVARES, R. C.; SILVA, P. H. Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, p. e250907. 2022. DOI: [10.1590/1806-9479.2021.250907](https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.250907).

SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, G. R.; FREITAS, E. G.; PINHEIRO, A. C.; SOUZA, R. N. Agricultura no Cerrado e impactos ambientais decorrentes. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 12, p. 25068–25081, 2023. DOI: [10.55905/oelv21n12-088](https://doi.org/10.55905/oelv21n12-088).