

**GABRIEL TEIXEIRA ERVILHA**

**ECOEFIÊNCIA DAS NAÇÕES E ECOINOVAÇÃO EMPRESARIAL: ENSAIOS  
SOBRE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

Orientador: Wilson da Cruz Vieira  
Coorientadora: Elaine Aparecida Fernandes

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2019**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

E73e  
2019

Ervilha, Gabriel Teixeira, 1988-  
Ecoeficiência das nações e ecoinovação empresarial :  
ensaios sobre sustentabilidade ambiental / Gabriel Teixeira  
Ervilha. – Viçosa, MG, 2019.  
120 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Inclui apêndices.

Orientador: Wilson da Cruz Vieira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Sustentabilidade e meio ambiente. 2. Eficiência.  
3. Análise envoltória de dados. 4. Indústria de transformação -  
Brasil. 5. Modelos multiníveis (Estatísticas). 6. Inovações  
tecnológicas - Aspectos ambientais -Pesquisa . I. Universidade  
Federal de Viçosa. Departamento de Economia Rural. Programa  
de Pós-Graduação em Economia Aplicada. II. Título.

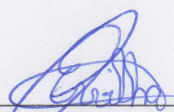
CDD 22. ed. 333.7

**GABRIEL TEIXEIRA ERVILHA**

**ECOEFIÊNCIA DAS NAÇÕES E ECOINOVAÇÃO EMPRESARIAL: ENSAIOS  
SOBRE SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de agosto de 2019.



---

Gabriel Teixeira Ervilha  
Autor



---

Wilson da Cruz Vieira  
Orientador

À Mãe, Nossa Senhora Aparecida.

*“Por isso, apelo para a responsabilidade, com base no dever que Deus deu ao ser humano na criação: cultivar e proteger (...)”*

(Francisco)

*“Que cada um de vocês a encontre em seu coração, assim como os pescadores a encontraram no rio. Busquem nas águas de seus corações e a encontrarão, porque Ela é mãe!”*

(Francisco)

## RESUMO

ERVILHA, Gabriel Teixeira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2019. **Ecoeficiência das Nações e EcoInovação Empresarial: Ensaio sobre Sustentabilidade Ambiental.** Orientador: Wilson da Cruz Vieira. Coorientadora: Elaine Aparecida Fernandes.

O desenvolvimento sustentável exige que as dimensões econômicas, sociais e ambientais devam ser consideradas simultaneamente em todas as esferas e níveis da sociedade, considerando as tecnologias adotadas, os recursos utilizados, as relações entre os diversos agentes e os possíveis trade-offs existentes entre as diferentes dimensões. Nesse cenário, a presente pesquisa busca compreender importantes problemáticas que apresentam estreita relação com a sustentabilidade ambiental. Dentro deste contexto, este trabalho consiste em dois estudos: um abordando ecoeficiência, em nível de nações, e o outro a ecoinovação, em nível de empresas brasileiras. O primeiro ensaio buscou avaliar, pela análise envoltória de dados e suas extensões, a ecoeficiência dos países, através da análise das eficiências unificadas (produtiva e ambiental), da ocorrência de congestionamentos desejáveis e indesejáveis na produção mundial e da evolução destas eficiências ao longo do tempo (2006 a 2014). Já o segundo ensaio buscou analisar, através da metodologia logit ordenado multinível e dados da Pesquisa de Inovação (PINTEC 2014), os determinantes individuais e setoriais que caracterizam as empresas da indústria de transformação brasileira nos diferentes níveis de ecoinovação. De forma geral, os resultados indicaram que há espaço para ganhos ambientais consistentes, sem prejuízo à competitividade e ao crescimento econômico, principalmente por meio do desenvolvimento de ecotecnologias e ecoinovações. Para o primeiro ensaio, os resultados mostraram não haver relação entre nível de desenvolvimento econômico e eficiência unificada e que o fator escala é o grande problema a ser enfrentado nos debates acerca da ecoeficiência das nações. Observa-se, ainda, que a congestão desejável não está presente na maioria dos países estudados e que a busca por ganhos ecotecnológicos deve ser priorizada para se alcançar a sustentabilidade. No segundo ensaio, os resultados demonstraram a importância das heterogeneidades setoriais na probabilidade das empresas ecoinovarem, além dos fatores individuais das firmas. Diante das análises realizadas, sugere-se que indicadores de eficiência possam auxiliar, juntamente com outras ferramentas, na proposição de políticas globais de metas para a mitigação das emissões de gases danosos ao meio ambiente. Ademais, a nível de firmas, recomenda-se o

fortalecimento de ações de P&D, os investimentos públicos, a maior relação entre instituições de pesquisa e ensino com as empresas e instrumentos regulatórios específicos, direcionando o setor industrial para a sustentabilidade econômica e ambiental.

Palavras-chave: Análise Envoltória de Dados. Eficiência Unificada. Indústria de transformação brasileira. Logit ordenado multinível. PINTEC.

## ABSTRACT

ERVILHA, Gabriel Teixeira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2019. **Eco-efficiency of nations and companies ecoinnovation: essays on environmental sustainability**. Adviser: Wilson da Cruz Vieira. Co-adviser: Elaine Aparecida Fernandes.

Sustainable development requires that the economic, social and environmental dimensions must be considered simultaneously in all spheres and levels of society, considering the technologies adopted, the resources used, the relationships between the various agents and the possible trade-offs between the different dimensions. In this scenario, the present research seeks to understand important issues that, even differing in structure and size, are closely related to environmental sustainability. Within this context, this work consists of two studies: one addressing ecoefficiency, at the level of nations, and the other the eco-innovation, at the level of Brazilian companies. The objective of first paper is to evaluate, through the data envelopment analysis and its extensions, the eco-efficiency of the countries, considering the unified efficiency (productive and environmental), the occurrence of desirable and undesirable congestion in world production and the evolution of efficiencies over time (2006-2014). Already the second paper analyzed the individual and sector determinants that characterize the Brazilian companies in the different levels of eco-innovation, using the multilevel ordered logit method and the Innovation Research (PINTEC 2014). In general, the results indicated that there is room for consistent environmental gains, without prejudice to competitiveness and economic growth, mainly through the development of eco-technologies and eco-innovations. For the first paper, the results indicated that there is no relationship between the level of economic development and unified efficiency, and that the scale factor is the major problem to be faced in the debates about the eco-efficiency of nations. It is also observed that desirable congestion is not present in most of the countries and that the search for ecotechnological gains should be prioritized to achieve sustainability. In the second paper, the results indicated the importance of sectoral heterogeneities in the probability of eco-innovation, besides the individual firm's factors. In view of the analysis, it is suggested that efficiency indicators be used in the proposal of global policies for mitigating climate change. In addition, at the firm level, it is recommended the strengthening of R&D actions, public investments, the greater relation between research and teaching

institutions with companies and specific regulatory instruments, directing the industrial sector towards economic and environmental sustainability.

Keywords: Data Envelopment Analysis. Unified efficiency. Brazilian manufacturing industry. Multilevel ordered logit method. PINTEC.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Projeções na fronteira de eficiência para (a) saídas desejáveis e (b) saídas indesejáveis.....	24
Figura 2.2: Congestionamentos indesejável (UC) e desejável (DC) .....	27
Figura 2.3: Mudança de fronteira (a) sob disposição natural e (b) sob disposição gerencial .....	28
Figura 2.4: Distribuição dos países segundo os intervalos de medidas de eficiências técnica e de escala, obtidas no modelo sob disposição natural .....	44
Figura 2.5: Distribuição dos países segundo os intervalos de medidas de eficiências técnica e de escala, obtidas no modelo sob disposição gerencial .....	48
Figura 2.6: Distribuição dos países conforme resultados obtidos nos modelos de eficiência, sob disposição natural e gerencial .....	51
Figura 2.7: Distribuição dos países conforme resultados obtidos nos modelos de eficiência de escala, sob disposição natural e gerencial .....	51

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Revisão da literatura internacional sobre os determinantes daecoinovação..	80
Quadro 3.2: Descrição das variáveis do modelo.....	85

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Correlação entre as variáveis de entrada e de saída do modelo.....	43
Tabela 2.2: Estatísticas descritivas das variáveis de entrada e de saída dos modelos (2014) .....	43
Tabela 2.3: Estatísticas das eficiências dos países, sob disposição natural, separados em grupos segundo a grandeza do PIB.....	46
Tabela 2.4: Estatísticas das eficiências dos países, sob disposição gerencial, separados em grupos segundo o volume de emissão de CO <sub>2</sub> .....	48
Tabela 3.1: Médias das variáveis utilizadas no modelo econométrico.....	89
Tabela 3.2: Inovação eecoinovação por setores produtivos .....	91
Tabela 3.3: Resultados dos modelos econométricos .....	92

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO .....	14
1. Considerações iniciais.....	14
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo geral .....	17
2.2 Objetivos específicos .....	18
Referências.....	18
CAPÍTULO 2 ECOEFICIÊNCIA DAS NAÇÕES: A EFICIÊNCIA UNIFICADA (PRODUTIVA E AMBIENTAL) A PARTIR DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	20
1. Introdução .....	21
2. Aspectos teóricos e empíricos da ecoeficiência.....	23
2.1 Unificação radial entre produtos desejáveis e indesejáveis .....	23
2.2 Disposição natural e disposição gerencial .....	25
2.3 Congestionamentos indesejável (UC) e desejável (DC).....	26
2.4 A mudança de fronteira em um horizonte de tempo: o índice de Malmquist.....	28
3. Metodologia.....	29
3.1 A análise da eficiência unificada .....	29
3.2 Congestionamentos desejáveis e indesejáveis .....	33
3.3 Análise temporal da eficiência unificada.....	36
3.4 Base de dados e variáveis utilizadas .....	39
3.5 Análise e ajustes nos dados.....	40
4. Resultados e discussão.....	43
4.1 Eficiência unificada sob disposição natural e gerencial .....	43
4.2 A ocorrência de congestionamentos desejáveis e indesejáveis na economia mundial .....	53
4.3 Análise temporal da eficiência unificada.....	55
5. Considerações finais .....	58
Referências.....	59
Apêndices.....	65
CAPÍTULO 3 DETERMINANTES DA ECOINOVAÇÃO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA .....	72

1. Introdução .....	73
2. Aspectos teóricos e empíricos da ecoinovação.....	75
2.1 A literatura teórica da ecoinovação e seus determinantes .....	75
2.2 A literatura empírica da ecoinovação e seus determinantes .....	78
3. Metodologia.....	82
3.1 Base de dados.....	88
4. Resultados e discussão.....	88
4.1 Caracterização das empresas analisadas .....	88
4.2 O modelo econométrico de ecoinovação .....	91
5. Considerações finais .....	97
Referências.....	98
Anexo.....	107
<b>CAPÍTULO 4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>119</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1. Considerações iniciais

O desenvolvimento, promotor de oportunidades econômicas, sociais, educacionais, liberdades políticas e estímulos às iniciativas, vem se destacando, nas últimas décadas, nos estudos de diferentes áreas de conhecimento (SEN, 2008). Mas foi a partir da década de 1980, com o Relatório Brundtland de 1987, que a questão ambiental surgiu como um significativo determinante na definição de desenvolvimento. Denominado de sustentável, o novo conceito foi formalizado pela Organização das Nações Unidas (ONU) e diz que “... desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1988, p. 46). Esta definição sugere, ainda, que a qualidade de vida, a equidade social e a eficiência econômica são propósitos centrais, contudo, deve-se considerar também a adequação das condições ambientais como fator preliminar para assegurar os propósitos do desenvolvimento (SACHS, 2007).<sup>1</sup>

Nesse ínterim, o desenvolvimento sustentável exige que as dimensões econômicas, sociais e ambientais devam ser ponderadas simultaneamente em todas as esferas e níveis da sociedade, considerando as tecnologias adotadas, os recursos utilizados, as relações entre os diversos agentes e os possíveis trade-offs existentes entre as diferentes dimensões (STEURER et al., 2005). Para Elkington (1994), apesar da existência de diferentes conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade, os três pilares – ambiental, social e econômico – permanecem os mesmos.<sup>2</sup> Assim, as diversas esferas, públicas e privadas, são importantes ao considerar esse tipo de desenvolvimento, pois as decisões e atividades desenvolvidas pelas mesmas geram diferentes impactos ambientais.

As mudanças climáticas ocorridas em todo o mundo ao longo das últimas décadas vêm alertando à população mundial com relação à necessidade de se desenvolverem de

---

<sup>1</sup> Diversas definições para desenvolvimento sustentável foram propostas na literatura específica, como as expressas em Daly (1996), Pope, Annandale e Saunders (2004), Beratan et al. (2004) e Sachs (2007).

<sup>2</sup> Elkington (1994) cunhou o termo Triple Bottom Line (Tripé da Sustentabilidade), propondo uma visão multidimensional que integra três dimensões correspondentes a valores e a resultados, os 3Ps: people, planet e profit (pessoas, planeta e lucro). Nesse sentido, o autor identifica o papel central dos diferentes agentes participantes (stakeholders) no desenvolvimento sustentável ao criarem estratégias que contribuem para a sustentabilidade.

maneira sustentável. Dessa forma, líderes mundiais estão em busca de meios de minimizar as externalidades negativas causadas pelo crescimento econômico dos países (as emissões de gases do efeito estufa, por exemplo). Conforme Oh (2010), a cooperação global em regulamentos ambientais aumentou significativamente; o Protocolo de Quioto (1997) e a Conferência de Bali (2007) são exemplos de que os países estão em busca de uma melhor eficiência energética, visando o aumento do uso de energias renováveis e a redução da emissão de gases poluentes e causadores do efeito estufa.

Mais recentemente, o Acordo de Paris, aprovado em 2015 por 195 países durante a 21ª Conferência das Partes das Nações Unidas (COP21), buscou fortalecer a resposta global à ameaça da mudança do clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. Em outras palavras, há uma busca pelo desenvolvimento sustentável, sendo que a utilização dos recursos naturais de forma eficiente é fundamental para atingir este objetivo. No entanto, a maioria dos esforços de políticas não atingiram os resultados esperados, principalmente por ausência de metodologias adequadas para a avaliação ambiental.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), órgão das Nações Unidas para avaliar a ciência relacionada à mudança climática, projeta que, se o contexto ambiental não for tratado com maior seriedade, pode ocorrer um aquecimento global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, entre 2030 e 2052. Os riscos atrelados às mudanças climáticas para os sistemas naturais e humanos são diversos e relacionam-se com a saúde, meios de subsistência, segurança alimentar, abastecimento de água, segurança humana, crescimento econômico, impactos na biodiversidade e nos ecossistemas, incluindo a perda e extinção de espécies.

Por sua vez, a atividade econômica, base da sociedade moderna, também é estratégica para os diversos países, visto a necessidade de crescimento econômico e a criação de emprego, renda e meios de pagamento. Porém, esse crescimento tem sido associado a vários tipos de poluição, e as mudanças ambientais e climáticas, decorrentes dessa externalidade, fazem com que a prática produtiva orientada somente para o lucro seja incompatível com uma tendência mundial em direção ao desenvolvimento sustentável. É necessário, então, a cooperação internacional em prol da sustentabilidade, através do desenvolvimento de ecotecnologias<sup>3</sup> e políticas ambientais eficazes.

---

<sup>3</sup> A ecotecnologia é uma prática que integraliza os estudos da tecnologia e da ecologia, utilizando-se de meios tecnológicos a fim de minimizar os danos aos ecossistemas e promover a sustentabilidade (MITSCH e JORGENSEN, 1989).

Apesar de não existir consenso na literatura sobre a direção da relação entre preservação ambiental e crescimento econômico – sendo que alguns pesquisadores acreditam que exista compensações (trade-offs) entre regulação ambiental e progresso econômico (PALMER, OATES e PORTNEY, 1995; SIMPSON e BRADFORD, 1996), enquanto outros veem na preservação ambiental a oportunidade de promoção de novas tecnologias em produtos e processos e, conseqüentemente, a prosperidade econômica (PORTER e VAN DER LINDE, 1995) – é fato que tal relação existe e demanda estudos e métodos que consigam relacionar os resultados desejáveis (produção de bens e serviços) e indesejáveis (emissão de gases do efeito estufa, por exemplo) dos processos produtivos globais.

É nesse contexto que Ripple et al. (2017) apontam que importantes passos devem ser considerados pela humanidade para a garantia da sustentabilidade, destacando entre eles: (i) desenvolver e adotar instrumentos políticos adequados para remediar problemas e fatores de degradação ambientais; (ii) adotar maciçamente fontes de energia renováveis, eliminando ao mesmo tempo os subsídios à produção de energia através de combustíveis fósseis e garantindo a eficiência energética; (iii) manutenção dos serviços ecossistêmicos da natureza, interrompendo a degradação de florestas e outros habitats naturais; e (iv) conceber e promover novas tecnologias ecológicas, que reduzam a emissão de poluentes e o consumo de insumos como água, energia e outras matérias-primas.

São esses passos que norteiam as problemáticas apresentadas nesta pesquisa, que, mesmo diferenciando-se em estrutura e dimensão, mostram estreita relação com a sustentabilidade ambiental. Mais especificamente, este trabalho consiste em dois estudos: um abordando a ecoeficiência, em nível de nações, e o outro aecoinovação, em nível de empresas brasileiras.

O primeiro ensaio relaciona-se à necessidade das nações em articular, de forma eficiente, um equilíbrio entre o progresso econômico e a redução dos fatores degradantes ao meio ambiente, mais especificamente as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. Dessa forma, busca-se analisar, por meio da análise envoltória de dados e suas extensões, a eficiência dos países, considerando, de forma unificada, duas condições fundamentais para um desenvolvimento contínuo e sustentável: a eficiência produtiva (produção de bens e serviços) e a eficiência ambiental (mitigação das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente).<sup>4</sup> Dessa forma, questiona-se: Os países eficientes produtivamente apresentam também eficiência ambiental (ecoefficiência)?

---

<sup>4</sup> Para um resumo sobre os conceitos de eficiência na área ambiental, consultar Jollands (2006).

Há o desenvolvimento de ecotecnologias no processo produtivo dos países analisados? A análise temporal permite inferir avanços na ecoeficiência das nações?

Já o segundo ensaio refere-se ao desafio das empresas em promover a sustentabilidade ambiental, por meio do uso de tecnologias que permitem reduzir o impacto sobre o meio ambiente e proporcionem novas técnicas de gestão ambiental. Assim, compreender os fatores que determinam o comportamento das empresas e dos setores industriais em relação às questões ambientais garante um aparato informacional importante nas estratégias setoriais e nacionais de desenvolvimento sustentável. No presente estudo as empresas brasileiras são analisadas por meio da metodologia econométrica do logit ordenado multinível.

Portanto, esta pesquisa propõe duas importantes frentes de análise relacionadas à sustentabilidade ambiental, a saber: (i) analisar as questões técnicas relativas ao processo produtivo internacional, através da eficiência produtiva e ambiental das nações, utilizando-se de métodos não-paramétricos de fronteira mais adequados à análise ambiental e ainda pouco difundidos na literatura; e (ii) identificar a relação da inovação em processos produtivos como forma de garantir um desenvolvimento industrial sustentável, utilizando a estrutura econométrica do logit ordenado multinível, com dois níveis (empresa e setor) e quatro intensidades deecoinovação (alta, média, baixa e inexistente), um diferencial em relação à literatura conexa. Os esforços realizados para tratar as relações existentes entre os aspectos institucionais, econômicos, técnicos e inovativos, tanto do ponto de vista teórico quanto empírico, reforçam a relevância da temática e abrem importantes debates com relação ao desenvolvimento sustentável, mais especificamente a sustentabilidade ambiental, no Brasil e no mundo.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral do presente trabalho é analisar os aspectos da sustentabilidade ambiental, nos países e na indústria de transformação brasileira, dando ênfase a fatores técnicos e inovativos, e suas relações com o meio ambiente, usando diferentes abordagens metodológicas.

## 2.2 Objetivos específicos

Especificamente, pretende-se:

- i. Calcular medidas de eficiências unificada (produtiva e ambiental) dos países, e tipificá-los segundo os níveis de ecoeficiência e o uso de ecotecnologias; e
- ii. Analisar os determinantes daecoinovação na estrutura industrial brasileira.

## Referências

BERATAN, K. K.; KABALA, S. J.; LOVELESS, S. M.; MARTIN, P. J.; SPYKE, N. P. Sustainability indicators as a communicative tool: building bridges in Pennsylvania. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 94, n. 1-3, p. 179-191, 2004. DOI: doi.org/10.1023/B:EMAS.0000016887.95411.77

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987. **Nosso futuro comum (Relatório Brundtland)**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

DALY, H. E. **Beyond growth: the economics of sustainable development**. Boston: Beacon Press, 1996.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, v. 36, n. 2, p. 90-100, 1994. DOI: 10.2307/41165746

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special Report: Global warming of 1.5°C**. Summary for Policymakers. World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Programme (UNEP). Genebra: WMO/UNEP, 2018.

JOLLANDS, N. Concepts of efficiency in ecological economics: Sisyphus and the decision maker. **Ecological Economics**, v. 56, n. 3, p. 359-372, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.09.014

MITSCH, W. J.; JORGENSEN, S. E. **Ecological Engineering: an introduction to ecotechnology**. 1 ed. Oak Ridge: Wiley-Interscience, 1989. 496 p.

OH, D. H. A metafrontier approach for measuring an environmentally sensitive productivity growth index. **Energy Economics**, v. 32, n. 1, p. 146-157, 2010. DOI: 10.1016/j.eneco.2009.07.006

PALMER, K.W.; OATES, W. E.; PORTNEY, P. R. Tightening environmental standards: The benefit-cost or the no-cost paradigm. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 119-132, 1995.

POPE, J.; ANNANDALE, D.; SAUNDERS, A. M. Conceptualising sustainability assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 24, n. 6, p. 595-616, 2004. DOI: 10.1016/j.eiar.2004.03.001

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment competitiveness relationship. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

RIPPLE, W. J.; WOLF, C. NEWSOME, T. M.; GALETTI, M.; ALAMGIR, M. CRIST, E. MAHMOUD, M. I.; LAURANCE, W. F.; 15,364 scientist signatories from 184 countries. World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice, **BioScience**, v. 67, n. 12, p. 1026-1028, 2017. DOI: 10.1093/biosci/bix125

SACHS, I. **Rumo à ecossocioeconomia: teoria e prática do desenvolvimento**. São Paulo: Cortez, 2007.

SEN, A. The idea of justice. **Journal of Human Development**, v. 9, n. 3, p. 331-342, 2008. DOI: 10.1080/14649880802236540

SIMPSON, R. D.; BRADFORD, R. L. Taxing variable cost: Environmental regulation as industrial policy. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 30, n. 3, p. 282-300, 1996. DOI: 10.1006/jeem.1996.0019

STEURER, R.; LANGER, M. E.; KONRAD, A.; MARTINUZZI, A. Corporations, stakeholders and sustainable development I: a theoretical exploration of business–society relations. **Journal of Business Ethics**, v. 61, n. 3, p. 263-281, 2005. DOI: 10.1007/s10551-005-7054-0

## CAPÍTULO 2

### ECOEFIÊNCIA DAS NAÇÕES: A EFICIÊNCIA UNIFICADA (PRODUTIVA E AMBIENTAL) A PARTIR DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é avaliar, por meio da análise envoltória de dados e suas extensões, a eficiência unificada (produtiva e ambiental) dos países, considerando os conceitos de disposição natural e disposição gerencial, e sua evolução ao longo do tempo (2006 a 2014), assim como a ocorrência de congestionamentos desejáveis e indesejáveis na produção mundial. Os resultados indicaram não haver relação entre nível de desenvolvimento econômico e eficiência unificada e que o fator escala tem um papel relevante quando se trata de ecoeficiência das nações. Observa-se, ainda, que a congestão desejável não está presente na maioria dos países estudados e que a busca por ganhos ecotecnológicos deve ser priorizado para a busca da sustentabilidade. Por fim, dada sua importância, sugere-se que indicadores de eficiência possam ser utilizados na proposição de políticas globais de metas para a mitigação das emissões de gases danosos ao meio ambiente.

**Palavras-Chave:** Análise envoltória de dados; Análise temporal; Ecoeficiência; Países; Sustentabilidade.

**Abstract:** The objective of this paper is to evaluate, through the data envelopment analysis and its extensions, the unified efficiency (productive and environmental) of countries, considering the concepts of natural disposability and managerial disposability, and its evolution over time (2006-2014), as well as the occurrence of congestion in world production. The results indicated that there is no relationship between the level of economic development and unified efficiency, and that the scale factor is the major problem to be faced in the debates about the eco-efficiency of nations. It is also observed that desirable congestion is not present in most of the countries and that the search for ecotechnological gains should be prioritized to achieve sustainability. Finally, given their importance, it is suggested that efficiency indicators be used in the proposal of global policies for mitigating climate change.

**Keywords:** Data envelopment analysis; Temporal analysis; Eco-efficiency; Countries; Sustainability.

## 1. Introdução

A análise de eficiência tem importância fundamental na avaliação do desempenho produtivo e ambiental, principalmente a partir da separação dos produtos (outputs) em resultados desejáveis (goods) e indesejáveis (bads) (KORHONEN e LUPTACIK, 2004; ZAIM, 2004; KUMAR, 2006; SUEYOSHI e GOTO, 2010a; PODINOVSKI e KOUSMANEN, 2011). Essa relação entre eficiência, produção e meio ambiente cunhou a terminologia de ecoeficiência produtiva.

Na verdade, o conceito de ecoeficiência produtiva surgiu do interesse de buscar uma produção de bens e serviços que atenda ao mercado, causando a menor degradação ambiental possível (KUOSMANEN e KORTELAJINEN, 2005). Diante dos avanços nos debates acerca das questões climáticas, tal conceito tornou-se evidente nos meios público, privado e, conseqüentemente, acadêmico, influenciando decisões relacionadas a fatores legais, tecnológicos, mercadológicos e financeiros.

Nesse ínterim, é necessário identificar o nível de ecoeficiência das nações, ou seja, verificar se as eficiências produtiva e ambiental podem se desenvolver conjuntamente, garantindo crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Nesse contexto, questiona-se a presença de ecoeficiência entre os diferentes países, sua dinâmica ao longo do tempo e, ainda, como identificar países com maior potencialidade em tornar-se nações ecoeficientes por meio do desenvolvimento de ecotecnologias.

A ecoeficiência dos países e/ou setores econômicos já foi avaliada em diferentes estruturas e para distintos objetos de estudo (ZHOU, ANG e POH, 2008; SUEYOSHI e GOTO, 2010a; ZHANG et al., 2011; CAMIOTO et al., 2016; HATFIELD-DODDS et al., 2017).<sup>5</sup> O setor energético é um dos mais representados nos estudos de ecoeficiência, destacando-se os trabalhos Korhonen e Luptacik (2004) para a Europa; Zhang e Choi (2013) para a China; Sueyoshi e Goto (2011b) para o Japão; e Sueyoshi e Goto (2009; 2010b; 2011a), Sueyoshi, Goto e Shang (2009) e Sueyoshi, Goto e Ueno (2010) na mensuração da eficiência ambiental e operacional das usinas de energia dos Estados Unidos.

As pesquisas de Sueyoshi e Goto (2009, 2010b, 2011a, 2011b), relacionadas aos setores de energia japonês e norte-americano, foram fundamentais para o desenvolvimento da estrutura computacional para a avaliação ambiental em análise envoltória de dados (Data Envelopment Analysis - DEA). Contudo, a discussão conceitual acerca da disposição natural

---

<sup>5</sup> Para revisões detalhadas sobre a literatura que relaciona eficiência e meio ambiente e as aplicações da Análise Envoltória de Dados em meio ambiente, consultar Caiado et al. (2017); Mardani et al. (2017; 2018); Sueyoshi, Yuan e Goto (2017); Sueyoshi e Goto (2018); Zhou et al. (2018).

e gerencial<sup>67</sup> foi apresentada em Sueyoshi e Goto (2012a), onde aplicaram a eficiência unificada (operacional e ambiental) para comparar o desempenho das empresas petrolíferas públicas com o das empresas privadas de petróleo. A partir desse estudo, desenvolveram-se diversos outros (SUEYOSHI e GOTO, 2012b; 2012c; 2012d; 2012e; 2015a; GOTO, OTSUKA e SUEYOSHI, 2014; SUEYOSHI, LI e GAO, 2018), que também expandiram as análises para a presença de congestão (SUEYOSHI e GOTO, 2012f; 2016; SUEYOSHI e YUAN, 2016; SUEYOSHI e WANG, 2018) e estudos com análise temporal (SUEYOSHI e GOTO, 2013a; 2015b; SUEYOSHI, GOTO e SUGIYAMA, 2013; SUEYOSHI, GOTO e WANG, 2017; SUEYOSHI e YUAN, 2017; 2018).

Apesar do avanço das pesquisas acerca da mensuração da ecoeficiência, ainda não há trabalhos que envolvam uma análise global de eficiência unificada (operacional e ambiental), considerando diferentes países e diferentes estruturas produtivas. Sendo assim, este estudo contribui para a literatura ao propor como objetivo a avaliação da eficiência dos países, considerando, conjuntamente, duas condições fundamentais para um desenvolvimento contínuo e sustentável: a eficiência produtiva, mensurada pela produção de bens e serviços, e a eficiência ambiental, baseada nas emissões de gases do efeito estufa (CO<sub>2</sub> equivalente). Enquanto a primeira busca maximizar a produção para dada quantidade de fatores produtivos, a segunda visa reduzir o impacto da utilização desses fatores no meio ambiente, minimizando as emissões de gases do efeito estufa (GEE).<sup>8</sup>

Especificamente, pretende-se, através da análise envoltória de dados e suas extensões, analisar diferentes indicadores de eficiência técnica (operacional e ambiental) e de escala (retornos e danos) para o ano de 2014 (última base de dados consolidada disponível); investigar a ocorrência de congestionamentos desejáveis e indesejáveis na produção mundial; bem como analisar a evolução das eficiências ao longo do tempo (2006 a 2014).

---

<sup>6</sup> As definições de disposição natural e disposição gerencial, desenvolvidas por Sueyoshi e Goto (2012a), são as bases das análises de eficiência desenvolvidas neste trabalho. Na disposição natural, a eliminação de fontes de ineficiências operacionais é definida como prioridade e o desempenho ambiental é medido como objetivo secundário. Já a disposição gerencial tem prioridade oposta nas medidas de desempenho operacional e ambiental. Os demais conceitos fundamentais ao estudo relacionam-se diretamente aos conceitos de disposição natural e disposição gerencial, referindo-se aos efeitos de escala (retornos e danos) e congestionamento (desejável e indesejável), que serão adequadamente definidos na Seção 2.

<sup>7</sup> Conceitos originalmente definidos como natural disposability e managerial disposability, respectivamente. Na tradução livre, optou-se por utilizar o termo “disposição” (ato ou efeito de dispor). Contudo é possível encontrar na literatura em português traduções como: descartabilidade e disponibilidade, ou o uso do próprio termo em inglês.

<sup>8</sup> Em outras palavras, busca-se, por meio da análise de ecoeficiência, maximizar o nível de eficiência operacional para o sucesso econômico dos países avaliados e, simultaneamente, minimizar o nível de poluição ambiental, atingindo-se um equilíbrio e, conseqüentemente, um maior nível de sustentabilidade.

Ressalta-se que a contribuição desta pesquisa para a literatura conexa perpassa a realização de uma análise global de eficiência, sendo a amplitude desta análise (109 países<sup>9</sup>), a definição dos insumos e produtos, o período de análise, o tratamento dos dados, a construção dos modelos de programação matemática em linguagem GAMS<sup>10</sup> e os diferentes cenários metodológicos pontos de destaque que respaldam a importância e originalidade da pesquisa.

Além desta introdução, o artigo está estruturado em mais quatro seções: na seção 2 são apresentados aspectos teóricos e empíricos acerca da eficiência ambiental; em seguida, na seção 3, encontram-se as principais ferramentas metodológicas utilizadas na análise, assim como os dados e variáveis utilizados. Os resultados e discussões estão na seção 4 e, finalmente, na seção 5, apresentam-se as principais conclusões do trabalho.

## **2. Aspectos teóricos e empíricos da ecoeficiência**

### **2.1 Unificação radial entre produtos desejáveis e indesejáveis**

A avaliação da ecoeficiência em diferentes objetos de estudo tem implicações importantes na formulação de políticas e na promoção da sustentabilidade. Dessa forma, ao longo dos anos, diferentes modelos de eficiência buscaram relacionar processos produtivos e resultados ambientais.

Um dos ganhos metodológicos na literatura recente do DEA (data envelopment analysis) ambiental foi a mensuração da eficiência unificada de resultados desejáveis (operacionais) e indesejáveis (danos ambientais) (SUEYOSHI e GOTO, 2012a). Dessa forma, compreender esse processo de unificação radial entre saídas desejáveis e indesejáveis é fundamental na compreensão dos modelos propostos.

Uma importante análise para compreensão desse processo é apresentada por Sueyoshi e Yuan (2017), conforme ilustrado na Figura 1. A Figura 1.a considera que cinco unidades tomadoras de decisão (decision making units - DMUs) (A, B, C, D, E) utilizam-se de um único insumo ( $x$ ) na obtenção de dois produtos desejáveis ( $g_1$  e  $g_2$ ), assumindo que todas as DMUs produzem a mesma quantidade de uma saída indesejável ( $b$ ). Já a Figura 1.b considera a presença de dois produtos indesejáveis ( $b_1$  e  $b_2$ ) e pressupõe que todas as cinco DMUs produzem a mesma quantidade de uma única saída desejável ( $g$ ). Os eixos dos

---

<sup>9</sup> O número de países analisados refere-se à disponibilidade de dados na base do Banco Mundial (DataBank). Inconsistências identificadas na base de dados também foram consideradas na seleção da amostra.

<sup>10</sup> General Algebraic Modeling System.

gráficos são as produtividades do insumo  $x$  na geração de produtos desejáveis (1.a) e de produtos indesejáveis (1.b). O contorno B-C-D-E é a fronteira de eficiência em ambas figuras. A DMU  $A$  é considerada ineficiente, tendo uma projeção radial para a fronteira eficiente em  $A'$ .

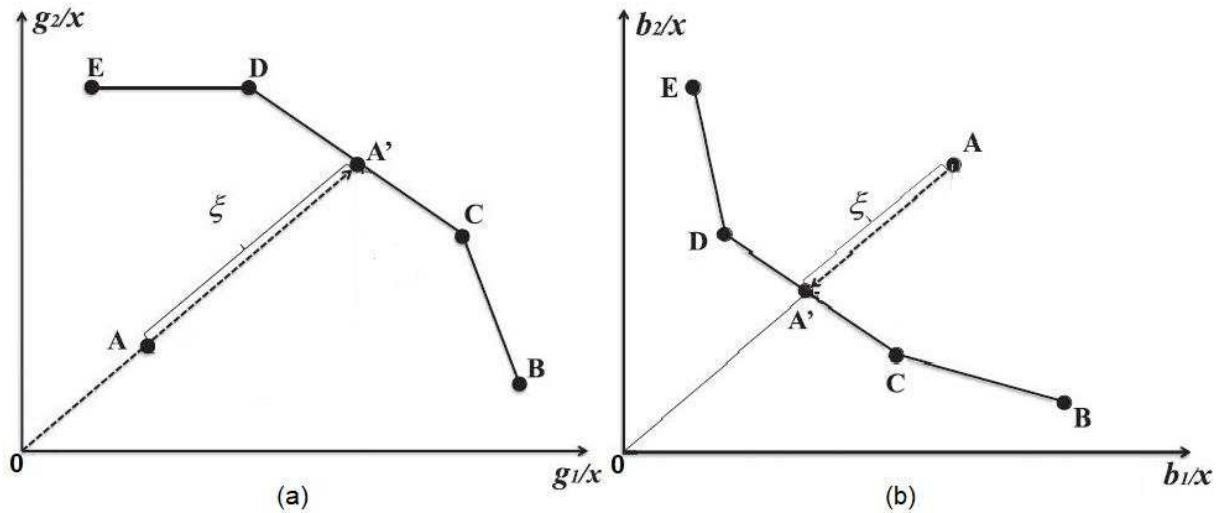


Figura 1: Projeções na fronteira de eficiência para (a) saídas desejáveis e (b) saídas indesejáveis

Fonte: Adaptado de Sueyoshi e Yuan (2017).

Ao considerar a medição de distância radial, a razão  $(OA)/(OA')$ , na Figura 1.a, indica a magnitude da eficiência referente à DMU  $A$ . Assim:

$$\frac{OA}{OA'} = \frac{OA}{OA + AA'} = \frac{1}{1 + \frac{AA'}{OA}} \cong \frac{1}{1 + \frac{AA'}{OA'}} = \frac{1}{1 + \xi} = 1 - \xi + \xi^2 - \xi^3 + \dots \cong 1 - \xi \quad (01)^{1112}$$

Já na Figura 1.b a projeção da DMU  $A$  no caso de duas saídas indesejáveis para a fronteira eficiente ocorre de forma direta. A relação  $OA'/OA$  indica o grau de eficiência de  $A$ , ou seja:

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{OA - AA'}{OA} = 1 - \frac{AA'}{OA} = 1 - \xi \quad (02)$$

Assim, é possível unificar os resultados desejáveis e indesejáveis e medir a magnitude da eficiência unificada em  $1 - \xi$ .

<sup>11</sup> A equação (01) considera que a DMU  $A$  localiza-se próxima a  $A'$ , de modo que o  $OA$  pode ser substituído por  $OA'$ . Em outras palavras, se uma DMU localiza-se em uma fronteira de eficiência ou próxima a ela, a medida da razão é confiável. Por outro lado, se a DMU se localizar longe da fronteira de eficiência, a medida da razão pode se aproximar de um (SUEYOSHI e GOTO, 2014). A razão  $AA'/OA' = \xi$ , que é o grau de ineficiência unificada, indica a magnitude do vetor direcional de  $A$  para melhorar o desempenho operacional da DMU  $A$ .

<sup>12</sup> É considerada uma aproximação matemática em que  $\sum_{w=2}^{\infty} (-\xi)^w = \xi^2/1 + \xi \cong 0$  se  $\xi \leq 1$ .

## 2.2 Disposição natural e disposição gerencial

Para analisar a eficiência unificada (operacional e ambiental) das nações e verificar os avanços da sustentabilidade ambiental, este trabalho incorpora os conceitos de disposição natural e disposição gerencial, propostos por Sueyoshi e Goto (2012a)<sup>13</sup>. Resumidamente, na disposição natural o desempenho operacional é medido como prioridade e o desempenho ambiental é medido como objetivo secundário; já a disposição gerencial tem prioridade oposta nas medidas de desempenho operacional e ambiental.

A disposição natural implica uma estratégia ambiental pela qual uma DMU tenta diminuir o vetor de entrada para reduzir o vetor de saídas indesejáveis. Diante da redução no volume de insumos, a DMU tenta aumentar tanto quanto possível o vetor de resultados desejáveis (outputs) (SUEYOSHI e GOTO, 2012a).

Já a disposição gerencial indica uma estratégia ambiental oposta, na qual a DMU aumenta o vetor de entrada, mas tenta melhorar seu desempenho unificado utilizando uma nova tecnologia ambiental. Dessa forma, o aumento do vetor de insumos gera um aumento no vetor de saídas desejáveis e a diminuição no vetor de resultados indesejáveis, visto um avanço de ecotecnologia. A disposição gerencial implica uma estratégia adaptativa na qual o desempenho ambiental dos países é tão importante quanto seu desempenho operacional (SUEYOSHI e GOTO, 2012a).

Juntamente com os conceitos de disposição natural e disposição gerencial, o conceito de medida de escala<sup>14</sup> na análise DEA também modifica-se, pois o mesmo divide-se em retornos à escala (RTS) para modelos de disposição natural e danos à escala (DTS) para modelos de disposição gerencial.

A medida de retornos à escala (ou economias de escala - RTS) fornece informações acerca das mudanças nos resultados desejados devido às mudanças na quantidade de insumos. O RTS crescente, sob disposição natural, implica que um aumento unitário nos insumos produz aumentos mais que proporcionais nos resultados desejáveis, sem agravar os resultados indesejáveis. Já no caso de RTS decrescente, um aumento unitário nos insumos

---

<sup>13</sup> Os conceitos de disposição natural e disposição gerencial apresentam semelhanças com os conceitos de disposição fraca (weak disponibility) e disposição forte (strong disponibility) (comumente utilizados na análise DEA) em termos de suas perspectivas conceituais e metodológicas. Para detalhes sobre tais relações, consultar Sueyoshi e Goto (2012f). Para outros detalhes sobre os conceitos de disposição fraca e disposição forte, consultar Ray (2004).

<sup>14</sup> A medida de escala fornece informações tanto de mudanças nos resultados desejados devido a mudanças na quantidade de insumos, quanto da forma de uma fronteira de eficiência. Mais detalhes, consultar Banker et al. (2011).

produz aumentos menos que proporcionais nos resultados desejáveis e com RTS constante tais aumentos são proporcionais, sem agravar os resultados indesejáveis (SUEYOSHI e GOTO, 2018).

Ao alterar a análise de produtos desejados para resultados indesejáveis – ou seja, analisar informações acerca das mudanças nos resultados indesejados devido a mudanças na quantidade de insumos – conceitua-se a medida de danos à escala (DTS). Um DTS crescente, sob disposição gerencial, implica que um aumento unitário de insumos produz aumentos mais que proporcionais nos resultados indesejáveis, sem melhorar os produtos desejáveis. Já no caso de DTS decrescente, um aumento unitário nos insumos produz aumentos menos que proporcionais nos resultados indesejáveis e com DTS constante tais aumentos são proporcionais, sem alterar os produtos desejáveis (SUEYOSHI e GOTO, 2018).

Dessa forma, embora o RTS e o DTS tenham semelhanças matemáticas, suas implicações econômicas são completamente opostas, pois um RTS crescente aponta maior oportunidade de produção a custos marginais decrescentes, enquanto um DTS crescente indica danos ao meio ambiente a taxas crescentes (SUEYOSHI e GOTO, 2012c). Contudo, cabe ressaltar a coexistência de DTS e RTS, pois o desempenho ambiental das DMUs não existe sem o desempenho operacional das mesmas.

### 2.3 Congestionamentos indesejável (UC) e desejável (DC)

Segundo Cooper et al. (2011), o congestionamento ocorre quando o produto que é maximamente possível pode ser observado ao reduzir um ou mais insumos sem alterar qualquer outra entrada ou saída. Alternativamente, pode-se dizer que o congestionamento ocorre quando alguns dos produtos que são maximamente possíveis são reduzidos aumentando uma ou mais entradas sem modificar qualquer outro insumo ou produto.<sup>15</sup>

A abordagem DEA proposta neste trabalho incorpora uma possível ocorrência de congestionamentos indesejáveis e de congestionamentos desejáveis na avaliação ambiental. Tal presença de congestionamento pode provir de um limite de capacidade em parte ou em todo o sistema de produção, já tradicionalmente debatido na estrutura DEA convencional, e de uma possível ocorrência de "limite econômico"<sup>16</sup> (SUEYOSHI e GOTO, 2018). Assim,

---

<sup>15</sup> Para uma conceituação detalhada sobre congestão e sua identificação em modelos DEA tradicionais, consultar Cooper et al. (2011).

<sup>16</sup> Um limite econômico é de caráter ambiental, proposto por Georgescu-Roegen (1986). Pela Lei da Entropia, não é possível qualquer atividade produtiva de transformação sem um processo de degradação entrópica irreversível gerador de resíduos (leis da Termodinâmica); é possível reduzir a quantidade de resíduos através

a análise de congestão permite identificar tanto limites de capacidade produtiva, como possibilidades de inovação ecotecnológica na redução dos impactos ambientais.

A Figura 2 apresenta possibilidades de ocorrência de congestionamento indesejável (UC) e congestionamento desejável (DC).

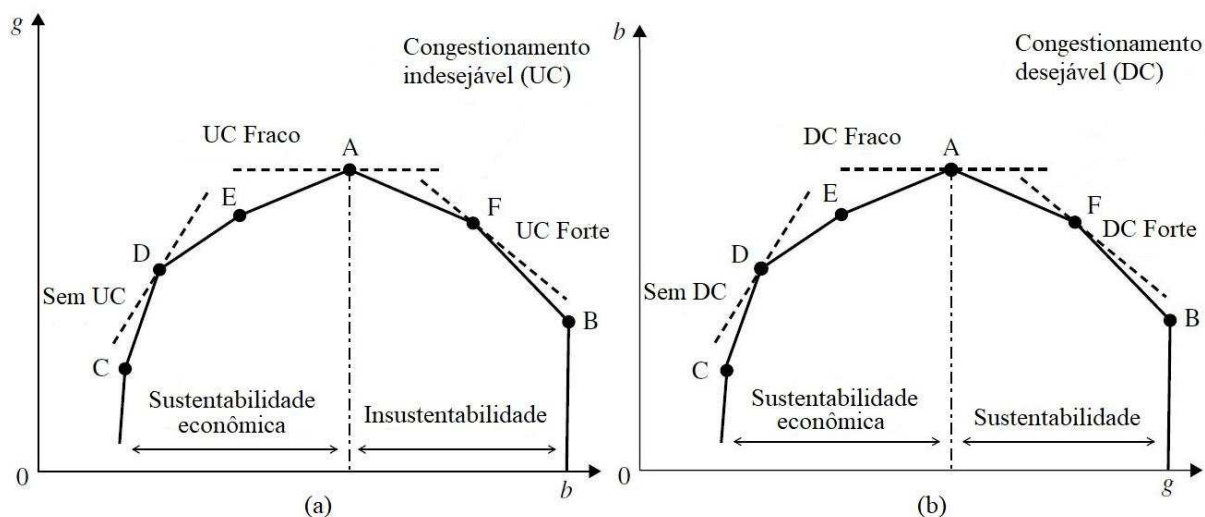


Figura 2: Congestionamentos indesejável (UC) e desejável (DC)

Fonte: Adaptado de Sueyoshi e Goto (2016).

Na Figura 2.a, uma inclinação negativa indica a ocorrência de UC, sendo considerada “UC forte”. A ocorrência implica um caso em que uma DMU aumenta uma quantidade de um insumo (x) e tal alteração de insumo aumenta o resultado indesejável (b), mas diminui o vetor de produto desejável (g). Em contraste, uma inclinação positiva implica em ausência de congestionamento, sendo assim referido como “sem UC”. Além dos dois casos, há a situação na qual a inclinação da linha é zero, denominado “UC fraco”. A ausência de UC indica “sustentabilidade econômica”, em que um país pode alcançar sucesso econômico, mas sem considerações sobre a questão ambiental; já a presença de UC pode indicar a ocorrência de “insustentabilidade” tanto econômica quanto ambiental.

De forma similar, na Figura 2.b, a inclinação negativa indica a ocorrência de DC. A ocorrência implica que o aumento de um insumo (x) aumenta o produto desejado (g) e diminui o resultado indesejável (b), fazendo com que a nação alcance tanto sucesso econômico quanto ambiental. O congestionamento desejável (DC) também é classificado nas três categorias: ausência, fraca ou forte. Esse tipo de congestionamento ocorre com a inovação em ecotecnologia sobre produtos indesejáveis. A ausência de DC pode garantir

---

do aumento da ecoeficiência, mas há limites entrópicos intransponíveis a partir de determinado limiar (GEORGESCU-ROEGEN, 1986).

ocorrência de “sustentabilidade econômica”, em que uma nação pode alcançar sucesso econômico, mas sem capacidade de proteção ambiental.

Dessa forma, a ocorrência de UC é geralmente devido a um limite de capacidade econômica e em instalações de produção parcial ou total e pode ocorrer sob disposição natural, enquanto que a de DC pode ser devido a inovação de tecnologia ecológica para mitigação da poluição, podendo estar presente na modelagem sob disposição gerencial (SUEYOSHI e GOTO, 2016).

#### 2.4 A mudança de fronteira em um horizonte de tempo: o índice de Malmquist

Para compreender a dinâmica de análise temporal aplicada ao DEA, por meio da medida do índice de Malmquist, considere dois períodos distintos ( $z$  e  $t$ , sendo  $z < t$ ). A Figura 3, proposta por Sueyoshi e Goto (2013a), representa as mudanças de fronteira do período  $z$  para o período  $t$  sob disposição natural (3.a) e sob disposição gerencial (3.b), supondo a presença de inovação tecnológica entre os dois períodos. Na Figura 3.a considere-se um único insumo ( $x$ ), dois produtos desejáveis ( $g_1$  e  $g_2$ ), sendo a quantidade de resultados indesejados a mesma nos dois períodos. Na Figura 3.b considere-se um único insumo ( $x$ ), dois produtos indesejáveis ( $b_1$  e  $b_2$ ) e resultados desejáveis constantes nos dois períodos em questão.

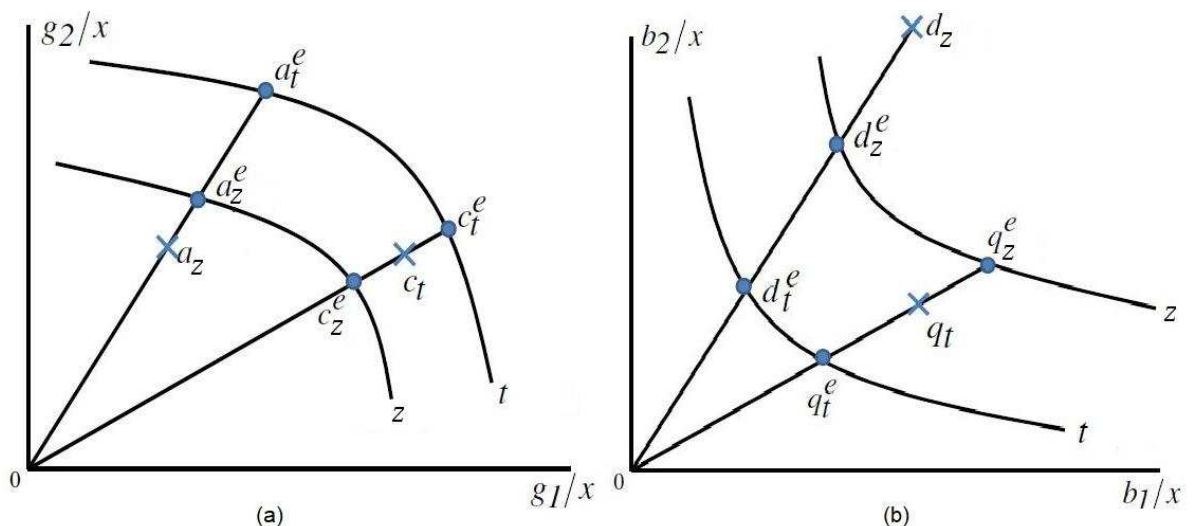


Figura 3: Mudança de fronteira (a) sob disposição natural e (b) sob disposição gerencial  
Fonte: Adaptado de Sueyoshi e Goto (2013a).

Na Figura 3.a,  $a_z$  representa o desempenho observado de uma DMU no  $z$ -ésimo período e  $c_t$  o desempenho desta DMU no período  $t$ . O desempenho da referida DMU em  $z$  é projetado para  $a_z^e$  e  $a_t^e$ , fronteiras de eficiência dos períodos  $z$  e  $t$ , respectivamente. Sob a

mesma hipótese, o desempenho da DMU em  $c_t$  é projetado para  $c_z^e$  na fronteira de eficiência para o período z e  $c_t^e$  na fronteira de eficiência para o período t.

Por meio de uma média geométrica, que é o próprio índice de Malmquist, é possível indicar o grau de desvio de fronteira entre os períodos z e t sob disposição natural ( $IN_z^t$ ), ou seja:

$$IN_z^t = \sqrt{\frac{0a_t^e 0c_t^e}{0a_z^e 0c_z^e}} = \sqrt{\frac{0a_t^e 0c_t^e}{0a_z^e 0c_t^e} \cdot \frac{0a_z^e 0c_z^e}{0a_z^e 0c_t^e}} = \sqrt{\frac{0a_z^e 0c_t^e}{0a_z^e 0c_z^e} \cdot \frac{0a_z^e 0c_t^e}{0a_t^e 0c_t^e}} \quad (03)$$

De forma análoga, a Figura 3.b descreve a mudança de fronteira sob disposição gerencial, em que  $d_z$  representa o desempenho observado de uma DMU no período z e  $q_t$  o desempenho desta mesma DMU no período t. O desempenho da DMU em  $d_z$  é projetado para  $d_z^e$  na fronteira de eficiência para o período z e  $d_t^e$  na fronteira de eficiência para o período t. Similarmente, o desempenho da referida DMU em t é projetado para  $q_z^e$  e  $q_t^e$ , fronteiras de eficiência dos períodos z e t, respectivamente.

Dessa forma, o índice de Malmquist entre os períodos z e t sob disposição gerencial ( $IM_z^t$ ) é dado por:

$$IM_z^t = \sqrt{\frac{0d_z^e 0q_z^e}{0d_t^e 0q_t^e}} = \sqrt{\frac{0d_z^e 0q_z^e}{0d_z^e 0q_t^e} \cdot \frac{0d_z^e 0q_z^e}{0d_t^e 0q_t^e}} = \sqrt{\frac{0d_z^e 0q_z^e}{0d_z^e 0q_t^e} \cdot \frac{0d_z^e 0q_z^e}{0d_t^e 0q_t^e}} \quad (04)$$

Assim, a análise temporal permite analisar a dinâmica da eficiência ao longo do tempo, identificando se houve progresso tecnológico, melhoria da eficiência total da DMU, ou ambos, para uma amostra.

### 3. Metodologia

#### 3.1 A análise da eficiência unificada

Como já mencionado, a eficiência unificada (operacional e ambiental) pode ser separada em dois modelos DEA: sob disposição natural e sob disposição gerencial, combinando resultados desejáveis e indesejáveis com distintas prioridades. Apesar de arcabouços teóricos distintos, os dois modelos DEA apresentam estruturas matemáticas e computacionais semelhantes. Inicialmente apresenta-se o modelo DEA sob disposição natural.

Considerando que existam  $m$  insumos,  $s$  produtos desejáveis e  $h$  produtos indesejáveis para cada uma das  $n$  DMUs, a  $j$ -ésima DMU utiliza um conjunto de insumos (vetor de entrada  $X_j$ ) para gerar um vetor de saídas desejáveis ( $G_j$ ) e, indiretamente, um vetor de saídas indesejáveis ( $B_j$ ).

O modelo DEA, apresentado por Sueyoshi e Goto (2012a; 2016; 2018), para mensurar a ineficiência unificada da  $k$ -ésima DMU sob disposição natural e retornos variáveis de escala é dado por:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
 & \text{sujeito a:} \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^{x-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\
 & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\
 & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
 & \lambda_j \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x-} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \\
 & \geq 0 (r = 1, \dots, s), d_f^b \geq 0 (f = 1, \dots, h)
 \end{aligned} \tag{05}$$

em que  $\xi$  é um score de ineficiência desconhecida, indicando a distância entre a fronteira de eficiência e um vetor observado de saídas desejáveis (produção de bens e serviços) e indesejáveis (emissão de gases do efeito estufa). Um número muito pequeno  $\varepsilon_S$  também é incorporado ao modelo (05) para reduzir a influência de folgas na função objetivo.<sup>17</sup> Os intervalos de dados para ajuste são determinados pelos limites superior e inferior das entradas e dos resultados desejáveis e indesejáveis. Esses limites superior e inferior são especificados por:

$$\begin{aligned}
 R_i^x &= (m + s + h)^{-1} (\max\{x_{ij} | j = 1, \dots, n\} - \min\{x_{ij} | j = 1, \dots, n\})^{-1} \\
 R_r^g &= (m + s + h)^{-1} (\max\{g_{rj} | j = 1, \dots, n\} - \min\{g_{rj} | j = 1, \dots, n\})^{-1} \\
 R_f^b &= (m + s + h)^{-1} (\max\{b_{fj} | j = 1, \dots, n\} - \min\{b_{fj} | j = 1, \dots, n\})^{-1}
 \end{aligned} \tag{05.1}$$

<sup>17</sup> Segundo Sueyoshi e Goto (2018), um problema do número muito pequeno é que uma decisão subjetiva pode ser incluída na seleção de  $\varepsilon_S$ , sendo a dificuldade de sua especificação uma desvantagem do modelo (05). Contudo, para os objetivos do presente estudo, a especificação do  $\varepsilon_S$  não gera prejuízo à análise, visto que o modelo usado é o radial e seu uso aqui é apenas para controlar a relação entre uma pontuação de ineficiência e a soma total de folgas. Este estudo define  $\varepsilon_S = 0,0001$  em todos os modelos realizados.

Adicionalmente,  $d_i^{x^-}$ ,  $d_r^g$  e  $d_f^b$  são todas variáveis de folga relacionadas a insumos, produtos desejáveis e saídas indesejáveis, respectivamente. O vetor desconhecido,  $\lambda$ , é denominado como estrutural e é usado para conectar todos os fatores de produção por uma combinação convexa. Como a soma das variáveis estruturais é restrita à unidade no modelo (05), os conjuntos de possibilidades de produção e poluição são estruturados sob retornos variáveis.

Dessa forma, o valor da eficiência unificada, considerando retornos variáveis, da  $k$ -ésima DMU sob disposição natural é dado por:

$$UEN_v^* = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right] \quad (06)$$

Ao aplicar a dualidade no modelo (05) tem-se a seguinte formulação:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\ & \text{sujeito a:} \\ & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \\ & \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1, \\ & v_i \geq \varepsilon_S R_i^x \quad (i = 1, \dots, m), u_r \geq \varepsilon_S R_r^g \quad (r = 1, \dots, s), w_f \\ & \geq \varepsilon_S R_f^b \quad (f = 1, \dots, h) \end{aligned} \quad (07)$$

em que  $v_i$ ,  $u_r$  e  $w_f$  são variáveis duais relacionadas aos primeiro, segundo e terceiro grupos de restrições do modelo (05). A variável dual ( $\sigma$ ) é obtida a partir da quarta equação do modelo (05).

O valor objetivo ótimo do modelo (07) é igual ao do modelo (05) na otimalidade, isso é:

$$\begin{aligned} & \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \\ & = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^*. \end{aligned} \quad (08)$$

Assim, o grau de eficiência unificada sob disposição natural e retornos variáveis também pode ser definido como:

$$UEN_v^* = 1 - \left[ \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^* \right] \quad (09)$$

O problema de programação linear com retornos variáveis pode ser modificado para atender à pressuposição de retornos constantes, bastando remover a restrição de convexidade,  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ , do modelo (05). Assim, o nível de eficiência unificada sob a disposição natural e retornos constantes ( $UEN_c^*$ ) segue a mesma dinâmica da equação (09), onde a solução ótima é obtida do modelo (05) sem a expressão  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ .

A eficiência de escala é obtida pela razão entre a eficiência com retornos constantes e a eficiência com retornos variáveis:

$$SEN^* = \frac{UEN_c^*}{UEN_v^*} \quad (10)$$

Similarmente ao modelo sob disposição natural, o modelo DEA que mensura a ineficiência unificada da  $k$ -ésima DMU em disposição gerencial e retornos variáveis, sugerido por Sueyoshi e Goto (2012a; 2016; 2018), é:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x+} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\ & \text{sujeito a:} \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\ & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\ & \lambda_j \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x+} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 (r = 1, \dots, s), d_f^b \\ & \geq 0 (f = 1, \dots, h). \end{aligned} \quad (11)$$

Ao aplicar a dualidade:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } - \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\
 & \text{sujeito a:} \\
 & - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \\
 & \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1, \\
 & v_i \geq \varepsilon_S R_i^x \quad (i = 1, \dots, m), u_r \geq \varepsilon_S R_r^g \quad (r = 1, \dots, s), w_f \\
 & \geq \varepsilon_S R_f^b \quad (f = 1, \dots, h)
 \end{aligned} \tag{12}$$

E o escore de eficiência unificado da k-ésima DMU em disposição gerencial é medido por:

$$\begin{aligned}
 UEM_v^* &= 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^{**}} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g^*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b^*} \right) \right] \\
 &= 1 - \left[ - \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^* \right]
 \end{aligned} \tag{13}$$

### 3.2 Congestionamentos desejáveis e indesejáveis

Para examinar a ocorrência de congestão indesejável (UC) sob disposição natural, este trabalho, seguindo a estrutura metodológica proposta por Sueyoshi e Goto (2016; 2018), reorganiza o modelo (05) alterando as restrições em resultados indesejáveis:

$$\begin{aligned}
 & \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^-} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g \right] \\
 & \text{sujeito a:} \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + d_i^{x^-} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\
 & \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - d_r^g - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\
 & \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
 & \lambda_j \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x^-} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 (r = 1, \dots, s).
 \end{aligned} \tag{14}$$

O modelo (14) descarta variáveis de folga relacionadas a resultados indesejáveis (b), de modo que elas são consideradas como restrições de igualdade. As outras restrições,

relativas a insumos e produtos desejados, são consideradas como desigualdade, porque mantêm as variáveis de folga. O modelo (14) tem a seguinte formulação dual:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize } \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} + \sigma \\
 & \text{sujeito a:} \\
 & \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r g_{rj} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fj} + \sigma \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), \\
 & \sum_{r=1}^s u_r g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f b_{fk} = 1, \\
 & v_i \geq \varepsilon_S R_i^x \quad (i = 1, \dots, m), u_r \\
 & \quad \geq \varepsilon_S R_r^b \quad (r = 1, \dots, s), w_f: \text{irrestrito} \quad (f = 1, \dots, h)
 \end{aligned} \tag{15}$$

Uma característica importante do modelo (15) é que as variáveis duais ( $w_f$ ) são irrestritas em seus sinais, porque as restrições sobre saídas indesejáveis são iguais no modelo (14). A única diferença entre o modelo (07), sem ocorrência de congestionamento indesejável, e o modelo (15) é o fato das variáveis  $w_f$  serem irrestritas no modelo com possibilidade de ocorrência de congestão. Um escore de eficiência unificado ( $UEN_v^*$ ) da  $k$ -ésima DMU sob disposição natural é medido:

$$\begin{aligned}
 UEN_v^* &= 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} \right) \right] \\
 &= 1 - \left[ \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^* \right]
 \end{aligned} \tag{16}$$

em que todas as variáveis são determinadas na otimalidade dos modelos (14) e (15). A eficiência unificada é obtida subtraindo o nível de ineficiência da unidade. Dessa forma, uma possível ocorrência de congestão indesejável (UC) é determinada pela seguinte regra:

- (i) Se  $w_f^* < 0$  para pelo menos um produto indesejável ( $f$ ), então ocorre UC forte na  $k$ -ésima DMU;
- (ii) Se  $w_f^* > 0$  para todos os produtos indesejáveis ( $f$ ), então não há ocorrência de UC na  $k$ -ésima DMU; e
- (iii) Se  $w_f^* = 0$  para pelo menos um produto indesejável ( $f$ ), então ocorre UC fraca na  $k$ -ésima DMU.

Já sob disposição gerencial é possível identificar a ocorrência de congestionamento desejável (DC). Para examinar tal ocorrência, reorganiza-se o modelo (11), descartando as variáveis de folga nos produtos desejados (g):

$$\begin{aligned}
& \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x+} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
& \text{sujeito a:} \\
& \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j - d_i^{x+} = x_{ik} \quad (i = 1, \dots, m), \\
& \sum_{j=1}^n g_{rj} \lambda_j - \xi g_{rk} = g_{rk} \quad (r = 1, \dots, s), \\
& \sum_{j=1}^n b_{fj} \lambda_j + d_f^b + \xi b_{fk} = b_{fk} \quad (f = 1, \dots, h), \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \\
& \lambda_j \geq 0 \ (j = 1, \dots, n), d_i^{x+} \geq 0 \ (i = 1, \dots, m), d_f^b \geq 0 \ (f = 1, \dots, h).
\end{aligned} \tag{17}$$

O modelo (17) elimina as variáveis de folga relacionadas aos resultados desejados, tornando-se assim restrições de igualdade. Os outros grupos de restrições em insumos e produtos indesejáveis mantêm as folgas para que possam ser consideradas como restrições de desigualdade. O modelo (17) tem formulação dual similar à equação (12), tendo como única diferença o fato das variáveis  $u_r$  ( $r = 1, \dots, s$ ) serem irrestritas no modelo com possibilidade de ocorrência de congestão desejável.

Uma pontuação de eficiência unificada ( $UEM_v^*$ ) da  $k$ -ésima DMU sob disposição gerencial é obtida subtraindo o nível de ineficiência da unidade:

$$\begin{aligned}
UEM_v^* &= 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x+*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right] \\
&= 1 - \left[ - \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ik} - \sum_{r=1}^s u_r^* g_{rk} + \sum_{f=1}^h w_f^* b_{fk} + \sigma^* \right]
\end{aligned} \tag{18}$$

em que todas as variáveis são determinadas na otimalidade dos modelos (17) e sua formulação dual. Uma possível ocorrência de congestão desejável (DC) é determinada pela seguinte regra:

- (i) Se  $u_r^* < 0$  para pelo menos um produto desejável ( $r$ ), então ocorre DC forte na  $k$ -ésima DMU;
- (ii) Se  $u_r^* > 0$  para todos os produtos desejáveis ( $r$ ), então não há ocorrência de DC na  $k$ -ésima DMU; e
- (iii) Se  $u_r^* = 0$  para pelo menos um produto desejável ( $r$ ), então ocorre DC fraca na  $k$ -ésima DMU.

### 3.3 Análise temporal da eficiência unificada

A mensuração comparativa, em um horizonte temporal, dos desempenhos operacional e ambiental sob disposição natural das  $n$  DMUs analisadas neste trabalho é realizada pelo índice de Malmquist. O índice de Malmquist entre os dois períodos é descrito por um deslocamento de fronteira proveniente de um progresso tecnológico (conforme apresentado na Figura 3). Dessa forma, o índice de Malmquist, sob disposição natural, entre os períodos  $z$  e  $t$  pode ser escrito, conforme Sueyoshi e Goto (2013a; 2018) e equação (03):

$$IN_z^t = \sqrt{\frac{UEN_z^R}{IUIN_{z \rightarrow t}^R} \frac{IUIN_{t \rightarrow z}^R}{UEN_t^R}} \quad (19)$$

em que  $UEN_z^R$  e  $UEN_t^R$  são duas medidas de eficiência que pertencem a um intervalo entre zero (ineficiência total) e um (eficiência total); e  $IUIN_{t \rightarrow z}^R$  e  $IUIN_{z \rightarrow t}^R$  são medidas de eficiência intertemporais que podem se tornar maiores ou menores que a unidade, dependendo da ocorrência de um cruzamento de fronteira entre os dois períodos.

Os valores de  $UEN_z^R$ ,  $UEN_t^R$ ,  $IUIN_{z \rightarrow t}^R$  e  $IUIN_{t \rightarrow z}^R$  são formulados por meio de modelos DEA. O cálculo de  $UEN_t^R$  na  $k$ -ésima DMU para o período  $t$ , sob disposição natural e retornos constantes é iniciado pelo modelo:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \xi + \varepsilon_s \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\ & \text{sujeito a:} \\ & \sum_{j \in J_t} x_{ijt} \lambda_{jt} + d_i^{x-} = x_{ikt} \quad (k \in J_t; i = 1, \dots, m), \\ & \sum_{j \in J_t} g_{rjt} \lambda_{jt} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt} \quad (k \in J_t; r = 1, \dots, s), \\ & \sum_{j \in J_t} b_{fjt} \lambda_{jt} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt} \quad (k \in J_t; f = 1, \dots, h), \\ & \lambda_{jt} \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x-} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \\ & \geq 0 (r = 1, \dots, s), d_f^b \geq 0 (f = 1, \dots, h) \end{aligned} \quad (20)$$

em que  $d_i^{x-}$ ,  $d_r^g$  e  $d_f^b$  são as variáveis de folga relacionadas a entradas, saídas desejáveis e saídas indesejáveis, respectivamente;  $\lambda_{jt}$  é um vetor de coluna de variáveis “estruturais”, usadas para conectar fatores de produção;  $\xi$  representa a medida de ineficiência;  $\varepsilon_s$  representa um número muito pequeno para indicar a importância relativa entre a pontuação de ineficiência e a quantidade total de folgas. Os intervalos de dados para ajuste são determinados pelos limites superior e inferior das entradas e dos resultados desejáveis e indesejáveis. Esses limites superior e inferior são especificados por:

$$\begin{aligned}
R_i^x &= (m + s + h)^{-1} \left( \max\{x_{ij} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} - \min\{x_{ij} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} \right)^{-1} \\
R_r^g &= (m + s + h)^{-1} \left( \max\{g_{rj} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} - \min\{g_{rj} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} \right)^{-1} \\
R_f^b &= (m + s + h)^{-1} \left( \max\{b_{fj} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} - \min\{b_{fj} | j \in J_z \cup J_t \cup \dots \cup J_T\} \right)^{-1}
\end{aligned} \quad (20.1)$$

em que  $J_z \cup J_t$  representa a união de todas as DMUs nos períodos z e t.

O valor de  $UEN_t^R$ , para a k-ésima DMU no período t é determinado por:

$$UEN_t^R = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_s \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-*} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b*} \right) \right] \quad (21)$$

em que os valores entre colchetes são determinados na otimalidade do modelo (20).

A base de cálculo de  $UEN_z^R$  na k-ésima DMU para o período z, sob disposição natural e retornos constantes segue a mesma estrutura do modelo (20), substituindo o subscrito t pelo subscrito z. O valor de  $UEN_z^R$ , para a k-ésima DMU no período z é determinado pela equação (21), onde a pontuação ineficiente e as folgas na otimização (entre colchetes) são medidas pelo modelo (20) após a substituição de t por z na formulação.

O cálculo de  $IUIN_{z \rightarrow t}^R$  é baseado na otimização da k-ésima DMU do período z para o grupo de DMUs do período t, determinado por:

$$\begin{aligned}
& \text{Maximize } \xi + \varepsilon_s \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
& \text{sujeito a:} \\
& \sum_{j \in J_t} x_{ijt} \lambda_{jt} + d_i^{x-} = x_{ikz} \quad (k \in J_z; i = 1, \dots, m), \\
& \sum_{j \in J_t} g_{rjt} \lambda_{jt} - d_r^g - \xi g_{rkz} = g_{rkz} \quad (k \in J_z; r = 1, \dots, s), \\
& \sum_{j \in J_t} b_{fjt} \lambda_{jt} + d_f^b + \xi b_{fkz} = b_{fkz} \quad (k \in J_z; f = 1, \dots, h), \\
& \lambda_{jt} \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n), d_i^{x-} \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 \quad (r = 1, \dots, s), d_f^b \\
& \quad \geq 0 \quad (f = 1, \dots, h)
\end{aligned} \quad (22)$$

O valor do  $IUIN_{z \rightarrow t}^R$  é medido pela equação (21), onde a medida de ineficiência e todas as variáveis de folga são determinadas na otimalidade do modelo (22).

Já cálculo de  $IUIN_{t \rightarrow z}^R$  é baseado na otimização da k-ésima DMU do período t para o grupo de DMUs do período z, determinado por:

$$\begin{aligned}
& \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x-} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
& \text{sujeito a:} \\
& \sum_{j \in J_t} x_{ijz} \lambda_{jz} + d_i^{x-} = x_{ikt} \quad (k \in J_t; i = 1, \dots, m), \\
& \sum_{j \in J_t} g_{rjz} \lambda_{jz} - d_r^g - \xi g_{rkt} = g_{rkt} \quad (k \in J_t; r = 1, \dots, s), \\
& \sum_{j \in J_t} b_{fjz} \lambda_{jz} + d_f^b + \xi b_{fkt} = b_{fkt} \quad (k \in J_t; f = 1, \dots, h), \\
& \lambda_{jz} \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x-} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \\
& \geq 0 (r = 1, \dots, s), d_f^b \geq 0 (f = 1, \dots, h)
\end{aligned} \tag{23}$$

Assim como as análises anteriores, o valor do  $IUIN_{t \rightarrow z}^R$  é medido pela equação (21), onde a medida de ineficiência e todas as variáveis de folga são determinadas na otimalidade do modelo (23).

O índice de Malmquist, sob disposição gerencial entre os períodos z e t ( $IM_z^t$ ) tem estrutura similar ao sob disposição natural e, conforme Sueyoshi e Goto (2013a; 2018) e equação (04), é dado por:

$$IM_z^t = \sqrt{\frac{UEM_z^R}{IUIM_{z \rightarrow t}^R} \frac{IUIM_{t \rightarrow z}^R}{UEM_t^R}} \tag{24}$$

em que  $UEM_z^R$ ,  $UEM_t^R$ ,  $IUIM_{z \rightarrow t}^R$  e  $IUIM_{t \rightarrow z}^R$  são subcomponentes mensurados por meio de modelos DEA sob retornos constantes. O modelo DEA para mensurar o valor de  $UEM_z^R$  é dado por:

$$\begin{aligned}
& \text{Maximize } \xi + \varepsilon_S \left[ \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x+} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^g + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^b \right] \\
& \text{sujeito a:} \\
& \sum_{j \in J_t} x_{ijz} \lambda_{jz} + d_i^{x+} = x_{ikz} \quad (k \in J_z; i = 1, \dots, m), \\
& \sum_{j \in J_t} g_{rjz} \lambda_{jz} - d_r^g - \xi g_{rkz} = g_{rkz} \quad (k \in J_z; r = 1, \dots, s), \\
& \sum_{j \in J_t} b_{fjz} \lambda_{jz} + d_f^b + \xi b_{fkz} = b_{fkz} \quad (k \in J_z; f = 1, \dots, h), \\
& \lambda_{jz} \geq 0 (j = 1, \dots, n), d_i^{x+} \geq 0 (i = 1, \dots, m), d_r^g \geq 0 (r = 1, \dots, s), d_f^b \\
& \geq 0 (f = 1, \dots, h)
\end{aligned} \tag{25}$$

O valor de  $UEM_z^R$ , para a k-ésima DMU no período z, sob disposição gerencial, é determinado por:

$$UEM_z^R = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^{**}} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g^*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b^*} \right) \right] \quad (26)$$

A base de cálculo de  $UEM_t^R$  na k-ésima DMU para o período t, sob disposição natural e retornos constantes segue a mesma estrutura do modelo (25), substituindo o subscrito z pelo subscrito t. O valor de  $UEN_t^R$ , para a k-ésima DMU no período t é determinado pela equação (26), onde a pontuação ineficiente e as folgas na otimização (entre colchetes) são medidas pelo modelo (25) após a substituição de z por t na formulação.

Os modelos DEA para mensurar as medidas de eficiência intertemporais  $IUIM_{z \rightarrow t}^R$  e  $IUIM_{t \rightarrow z}^R$ , sob disposição gerencial, seguem as mesmas estruturas e orientações dos modelos (22) e (23), respectivamente. Os resultados da otimização são deduzidos da unidade, conforme equações a seguir:

$$IUIM_{z \rightarrow t}^R = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^{**}} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g^*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b^*} \right) \right] \quad (27)$$

$$IUIM_{t \rightarrow z}^R = 1 - \left[ \xi^* + \varepsilon_S \left( \sum_{i=1}^m R_i^x d_i^{x^{**}} + \sum_{r=1}^s R_r^g d_r^{g^*} + \sum_{f=1}^h R_f^b d_f^{b^*} \right) \right] \quad (28)$$

#### 3.4 Base de dados e variáveis utilizadas

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos no banco de dados do Banco Mundial (DataBank) e são referentes aos anos de 2006, 2008, 2010, 2012 e 2014. O DataBank é uma ferramenta de análise e visualização que contém um conjunto importante de dados de séries temporais em diversos tópicos e de diversas fontes. Foram analisados os 109 países que apresentavam disponibilidade de informações nos anos analisados. Os modelos de programação matemática para os diferentes cenários metodológicos foram construídos e estimados usando o software GAMS.

Para a obtenção das medidas de eficiência unificada, utilizou-se as seguintes variáveis, em que  $X_i$  representam os insumos,  $G_i$  os produtos desejáveis e  $B_i$  os produtos indesejáveis:

$X_1$ : Força de trabalho, composta pelo fornecimento de mão de obra, de 15 anos de idade ou mais, para a produção de bens e serviços de uma economia, em milhões de trabalhadores;

$X_2$ : Formação bruta de capital fixo (FBCF), que consiste no desembolso de adições ao imobilizado mais as mudanças líquidas no nível de estoques de uma economia,

em bilhões de dólares internacionais (Paridade Poder de Compra - PPC);

X<sub>3</sub>: Consumo de energia, referente ao uso de energia primária antes da transformação para outros combustíveis de uso final como insumos, em bilhões de quilogramas de óleo equivalente;

X<sub>4</sub>: Esgotamento de recursos naturais, representado pela soma do esgotamento líquido da floresta, do esgotamento de energia e da extração mineral, em bilhões de dólares internacionais (PPC) (baseado no % da Renda Nacional Bruta);

G<sub>1</sub>: Produto Interno Bruto (PIB), composto pela soma do valor agregado bruto de todos os residentes no ano, em bilhões de dólares internacionais (PPC);

B<sub>1</sub>: Emissão de CO<sub>2</sub>, dióxido de carbono emitido em decorrência da queima de combustíveis fósseis e da fabricação de cimento, em mil quilotoneladas; e

B<sub>2</sub>: Outras emissões totais, emissões de gases de efeito estufa das diversas estruturas produtivas (indústria, serviços, agricultura, pecuária, extração florestal, etc.), derivadas de metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>), em mil quilotoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

### 3.5 Análise e ajustes nos dados

Como em qualquer técnica empírica, o modelo DEA<sup>18</sup> é baseado em suposições, necessitando serem reconhecidas e avaliadas, como a sensibilidade a erros de medida, a impossibilidade em comparar os escores de eficiência entre diferentes estudos e a sensibilidade à especificação dos fatores e ao tamanho do grupo sob análise. Dessa forma, importantes análises e tratamentos foram considerados neste trabalho, a saber: (i) ajuste de dados; (ii) método de detecção e remoção de outliers; e (iii) testes não paramétricos de fronteiras de eficiência.

#### (i) Ajuste de dados

O presente estudo trabalha com diferentes insumos e produtos, com distintas unidades de medidas e dimensões. Quando uma entrada (input) ou uma saída (output) é muito maior (numericamente) do que os demais insumos e produtos, o fator numericamente

---

<sup>18</sup> Existem vários outros modelos e pressuposições que podem ser incorporados na formulação dos problemas de programação utilizados pela DEA, inclusive em análise ambientais. Para descrições mais detalhadas da metodologia recomenda-se a consulta de livros textos como, por exemplo, Coelli et al. (2005), Ferreira e Gomes (2009), Cooper, Seiford e Zhu (2011) e Sueyoshi e Goto (2018).

superior geralmente domina todo o processo computacional da DEA (SUEYOSHI e GOTO, 2013b). Nesse caso, optou-se por ajustar o conjunto de dados dividindo todas as observações do insumo/produto pela média do respectivo insumo/produto. Acredita-se que tal ajuste de dados produza resultados DEA mais confiáveis.

(ii) Método de detecção e remoção de outliers

Dado o fato de que um problema crítico do método DEA é a grande sensibilidade na presença de outliers e erros amostrais, o presente trabalho utilizou a metodologia desenvolvida por Sousa e Stosic (2003) para detectar a presença destes possíveis outliers que poderiam afetar a fronteira de eficiência. O estudo de Sousa e Stosic (2003) idealizou uma combinação de duas metodologias de reamostragem, de modo a proceder com uma análise específica para o DEA. A partir dos métodos jackknife (determinístico) e bootstrap (estocástico), os autores deram origem ao procedimento denominado “jackstrap”. Em um primeiro momento, o jackknife é utilizado por meio de um algoritmo, que mensura a influência de cada DMU no cálculo das eficiências, isto é, cada DMU é removida isoladamente da amostra para que as eficiências sejam então calculadas sem sua presença. Em um segundo instante, é utilizado o método bootstrap de reamostragem estocástica, levando em consideração a informação das influências obtidas pelo jackknife.

O estimador obtido desta maneira é denominado leverage ( $\ell$ ), e possibilita uma análise automática da amostra, dispensando uma análise manual que, além de imprecisa, é inviável em grandes amostras. Formalmente, o leverage de Sousa-Stosic pode ser definido como o desvio padrão das medidas de eficiência antes e depois da remoção de cada DMU do conjunto amostral.

Presume-se que as DMUs caracterizadas como outliers possuam um leverage consideravelmente acima da média global. Com a informação dada pelo leverage é possível então identificar e eliminar observações outliers. Para tanto, é necessário utilizar um critério específico relacionado ao desvio do índice em relação à sua média global. Sousa e Stosic (2005) sugerem um múltiplo da média global,  $\tilde{\ell}_0 = c\bar{\ell}$ , onde  $\bar{\ell}$  representa a média global do leverage e  $c$  é uma constante que assume valor de 2 ou 3 de modo geral, ou, alternativamente, adota-se  $\tilde{\ell}_0 = 0,02$  como critério de corte. Desta forma, DMUs com um leverage acima desse valor seriam caracterizadas como outliers e então removidas da amostra.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> A análise dos dados com o objetivo de verificar a presença das observações com valores considerados atípicos foi realizada apenas para o modelo DEA sob disposição natural (modelos (08) e (10)), pelo fato de suas características mais próximas aos modelos DEA convencionais (nos quais os métodos de detecção de outliers foram desenvolvidos).

Considerando o critério de corte sugerido, nenhuma DMU analisada apresentou influência atípica, ou seja, com valores de leverages superiores a 0,02. Ou seja, não houve a ocorrência de observações discrepantes em relação à média, fato que seria suficiente para deslocar a fronteira e aumentar o nível médio de eficiência de forma artificial, comprometendo o nível de eficiência das demais DMUs e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados.

(iii) Testes não paramétricos de fronteiras de eficiência

Antes de executar os modelos para cálculo das medidas de eficiência, é preciso verificar se as nações estudadas, mesmo com estratos de produção (e poluição) diferentes, fazem parte de uma mesma fronteira de eficiência ou se cada estrato de produção gera sua própria fronteira. Para verificar se há diferenças entre as fronteiras de eficiência dos países quando separados por estratos de produção, procedeu-se com o teste não paramétrico U de Mann-Whitney. O teste avalia se, dentre dois grupos de variáveis aleatórias, uma delas é estocasticamente maior que outra, sendo assim aplicado para verificar se duas amostras independentes pertencem ou não a uma mesma população (BANKER, ZHENG e NATARAJAN, 2010). No presente caso, os países foram divididos em três estratos de acordo com o Produto Interno Bruto no ano de 2014: 1/3 dos países com maior PIB; 1/3 dos países com PIB intermediários; 1/3 dos países com os menores PIB.<sup>20</sup>

Os resultados do teste de U de Mann-Whitney evidenciaram que a hipótese nula, de que os grupos em consideração pertencem a uma mesma população, não é rejeitada nas três comparações realizadas.<sup>21</sup> Desta forma, não há diferenças significativas nas fronteiras de eficiência dos grupos em questão, uma vez que o tamanho da produção não afeta a eficiência calculada. Diante disso, as análises realizadas neste trabalho consideram uma única fronteira de eficiência, independente do volume de produção existente.

---

<sup>20</sup> O teste não paramétrico de fronteiras de eficiência também foi realizado apenas para o modelo DEA sob disposição natural (modelos (04) e (06)).

<sup>21</sup> O teste de U de Mann-Whitney também foi realizado para três estratos de países divididos de acordo com os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> no ano de 2014. Contudo, os estratos divididos de acordo com as emissões de CO<sub>2</sub> apresentam composições similares aos estratos divididos de acordo com o PIB, garantindo os mesmos resultados no teste (não rejeição da hipótese nula).

## 4. Resultados e discussão

### 4.1 Eficiência unificada sob disposição natural e gerencial

Antes de analisar os resultados dos modelos DEA de eficiência, precede-se com a análise de correlação entre insumos e produtos utilizados no modelo, bem como as estatísticas descritivas destas variáveis. Tais análises são importantes para compreender as grandezas e relações que estão sendo estudadas. A Tabela 1 apresenta a correlação entre as variáveis de entrada e de saída.

Tabela 1: Correlação entre as variáveis de entrada e de saída do modelo, 2014

	Trabalho	FBCF	Energia	Recursos
PIB	0,8131	0,9698	0,9783	0,6559
CO <sub>2</sub>	0,8857	0,9667	0,9853	0,7463
Emissões	0,8888	0,9521	0,9763	0,7620

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os coeficientes de correlação de Pearson são elevados e significativos (a um nível de significância de 1%), indicando a forte interação entre insumos e produtos utilizados nos modelos, fator importante na metodologia DEA.

Já a Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas dos insumos e produtos utilizados nos modelos para o ano de 2014. Cabe observar aqui a alta heterogeneidade dos países quanto aos diferentes insumos e produtos, com destaque para o PIB (maior desvio padrão e diferença entre mínimo e máximo) e emissões de CO<sub>2</sub> (maior coeficiente de variação). Tais diferenças poderiam sugerir, inicialmente, a presença de mais de uma fronteira de eficiência, visto a possibilidade de diferentes estruturas tecnológicas produtivas. Contudo, o teste não paramétrico U de Mann-Whitney, anteriormente apresentado, rechaça a hipótese de existência de distintas fronteiras, inserindo os 109 países estudados em uma mesma população.

Tabela 2: Estatísticas descritivas das variáveis de entrada e de saída dos modelos (2014)

Input/output	Média	Máximo	Mínimo	Coef. de variação (%)
Força de trabalho (milhões)	27,68	786,57	0,21	325,46
FBCF (\$ bilhões)	172,35	4.721,38	1,06	332,50
Energia total (kg bilhões)	114,09	3.051,50	1,81	326,35
Recursos naturais (\$ bilhões)	19,15	357,93	0,01	258,68
Emissões de CO <sub>2</sub> (kt mil)	294,91	10.291,93	2,13	382,40
Emissões totais (kt mil)	438,07	12.454,71	7,43	319,23
PIB PPP (\$ bilhões)	954,31	18.336,44	10,70	270,19

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ao analisar as estatísticas descritivas, observa-se, ainda, que todos os valores máximos de inputs e outputs pertencem a China, indicando as dimensões continentais deste país. Já os valores mínimos para as diferentes variáveis encontram-se distribuídos entre países africanos (Togo – FBCF e PIB; Namíbia – energia; Níger – emissões de CO<sub>2</sub>), asiático (Brunei – força de trabalho), latino-americano (Panamá – recursos naturais) e europeu (Chipre – emissões totais). Os valores dos coeficientes de variação reforçam as diferentes estruturas produtivas nacionais que estão sendo estudadas, além de indicarem possíveis diferenciais na escala de produção e poluição dos países, justificando a análise dos modelos DEA com retornos variáveis.

Com base nos objetivos específicos deste trabalho, a Figura 4 apresenta a distribuição dos 109 países que se encontram na amostra segundo os estratos de eficiência no modelo sob disposição natural, pressupondo tanto retornos constantes quanto variáveis à escala. Os níveis de eficiência de cada país, considerando o modelo sob disposição natural, encontram-se na Tabela A.1, no Apêndice.

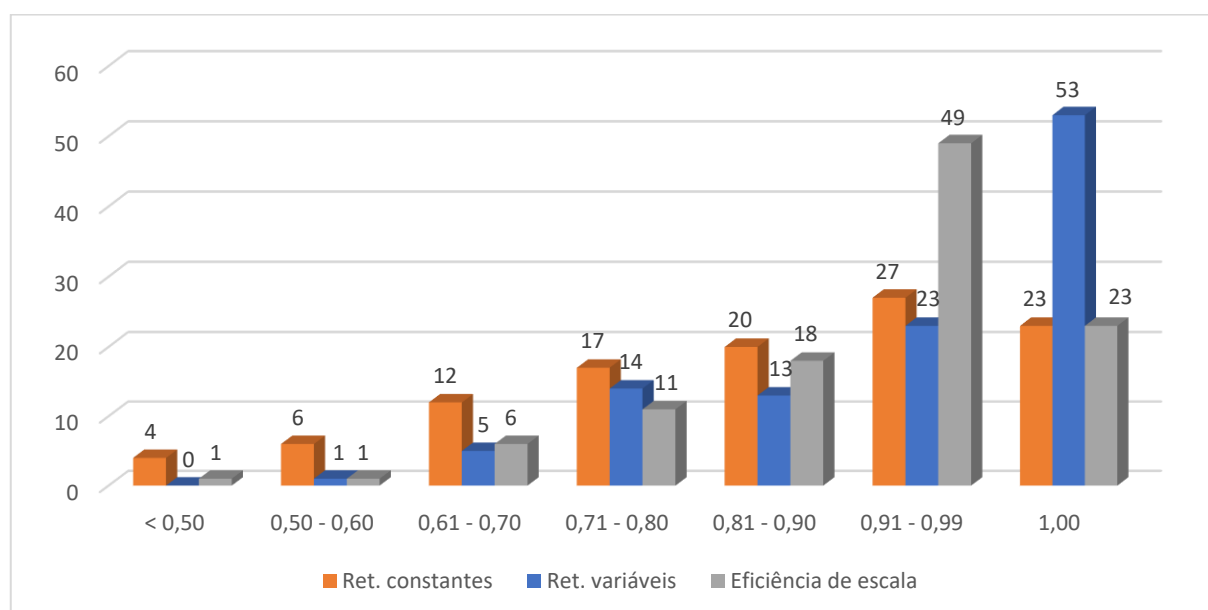


Figura 4: Distribuição dos países segundo os intervalos de medidas de eficiências técnica e de escala, obtidas no modelo sob disposição natural

Fonte: Resultados da pesquisa.

É possível observar um quantitativo considerável de países com níveis elevados de eficiência pressupondo retornos variáveis de escala (81,65% dos países com eficiência superior a 0,80), sendo que quase a metade dos países (48,62%) são consideradas 100% eficientes. A eficiência média sob disposição natural e pressupondo retornos variáveis é de 92,14% e apenas um país apresenta eficiência inferior a 0,60 (Venezuela – 0,5964).

Por outro lado, ao considerar o modelo com retornos constantes à escala, o nível médio de eficiência atinge 83,66%, sendo que a China apresenta o pior indicador de eficiência (0,3494). Ademais, nesse modelo, os níveis de eficiência dos países se distribuem melhor ao longo dos intervalos do histograma apresentado na Figura 4. Apesar dos níveis de eficiência sob retornos constantes serem sempre iguais ou inferiores aos níveis de eficiência sob retornos variáveis, a diferença na média e a distribuição dos países nos dois modelos dão indícios do papel da escala de produção na análise da eficiência unificada. A eficiência de escala média é de 0,9074, com um desvio padrão de 0,1238.

Ao analisar a distribuição geográfica dos países, de acordo com as medidas de eficiência obtidas no modelo sob disposição natural e retornos variáveis, nota-se que não há uma relação locacional dos mesmos com as medidas de eficiência mais elevadas, nem uma relação direta (ou indireta) entre altos níveis de eficiência e o desenvolvimento econômico das nações. As dez maiores economias do mundo<sup>22</sup> são consideradas 100% eficientes, mas alguns países que estão entre os menores PIBs do mundo (Togo, Moldávia, Níger e Namíbia, por exemplo) também apresentam este nível de eficiência. Tal resultado indica que diferentes estruturas produtivas e econômicas, com distintas combinações entre os insumos e produtos, podem ser consideradas eficientes. Dessa forma, essas proporções de usos diferentes garantem um maior número de ajustes possíveis para as unidades consideradas ineficientes.

Entre os países menos eficientes (abaixo de 0,7000), além da Venezuela, encontram-se os também latino-americanos Bolívia, Honduras e Equador, Bielorrússia na Europa e Vietnã na Ásia. Assim como na eficiência, não há um padrão entre os países mais ineficientes, apesar de serem normalmente nações em desenvolvimento localizadas nos continentes mais pobres (América Latina, África e Ásia) ou nações europeias com PIBs menores.

Entre os países nos grupos intermediários de eficiência, destaques podem ser dados ao Canadá (0,7719) e à Austrália (0,8018). O Canadá é o 16<sup>a</sup> maior PIB e o 9<sup>o</sup> maior emissor de CO<sub>2</sub> entre os países presentes neste estudo, mas também é um dos países que mais sofrem com os impactos ambientais, devido às suas características geográficas. O intensivo uso das usinas de carvão e óleo na matriz energética canadense, a exploração florestal e o impacto potencializado das emissões globais de gases de efeito estufa no país podem ser indícios da ineficiência identificada. A Austrália, com nível de eficiência de 80,18%, também apresenta características, fatores e influências similares para justificarem o seu nível de ineficiência.

---

<sup>22</sup> Os maiores PIBs no ano de 2014, a saber: China, Estados Unidos, Índia, Japão, Alemanha, Rússia, Brasil, Indonésia, França e Reino Unido.

Ao analisar a eficiência de escala, alguns países considerados eficientes pressupondo retornos variáveis (eficiência pura) apresentam altos níveis de ineficiência de escala. O destaque é a China, que, como já mencionado, apresenta o menor nível de eficiência de escala entre os países estudados (34,94%); as dimensões populacionais, econômicas e produtivas chinesas justificam os problemas de escala do país, aliado ao fenômeno denominado rebound effect (efeito bumerangue) (BINSWANGER, 2001). A eficiência pura (eficiência medida pelo modelo com retornos variáveis) é sinônimo de produtividade, ou seja, de economia de recursos (insumos) e redução de custos; operar com tal eficiência, por sua vez, estimula a demanda e, conseqüentemente, o aumento da produção, anulando parcialmente a economia de recursos inicial (rebound effect), acarretando o problema de escala. Esse fato, a nível nacional, torna-se mais comum em países em desenvolvimento, visto a possibilidade de crescimento econômico (ROY, 2000; JIN, 2007). Fato similar, mas com menor intensidade, pode ser observado na Indonésia, Rússia, Índia e Brasil.

Assim como na eficiência com retornos variáveis, não é plausível traçar um padrão locacional na identificação dos países eficientes quanto a escala, mesmo que a maioria dos países 100% eficientes esteja na Europa e na Ásia.

A Tabela 3 apresenta as estatísticas dos níveis de eficiência sob disposição natural para dois grupos de países, segundo o PIB.

Tabela 3: Estatísticas das eficiências dos países, sob disposição natural, separados em grupos segundo a grandeza do PIB

Países	Modelo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Maiores PIBs (50)	CRS	0,8627	1,0000	0,3494	0,1448
	VRS	0,9411	1,0000	0,5964	0,0978
	SEN	0,9166	1,0000	0,3494	0,1167
Menores PIBs (59)	CRS	0,8144	1,0000	0,4136	0,1592
	VRS	0,9047	1,0000	0,6135	0,1165
	SEN	0,8996	1,0000	0,5493	0,1300
Todos	CRS	0,8366	1,0000	0,3494	0,1540
	VRS	0,9214	1,0000	0,5964	0,1094
	SEN	0,9074	1,0000	0,3494	0,1238

\* CRS: retornos constantes; VRS: retornos variáveis; SEN: eficiência de escala

Fonte: Resultados da pesquisa.

Apesar de não existir uma relação direta entre tamanho da economia, mensurado através do PIB, e eficiência unificada, observa-se que os países com os maiores PIBs apresentam valores médios de eficiência superiores aos de menores PIBs. Contudo, os valores mínimos em todos os modelos de eficiência encontram-se associados a países

pertencentes ao grupo de maiores PIBs (China e Venezuela). Observa-se, ainda, que o problema da ineficiência de escala é superior à questão da pura ineficiência nos dois estratos de países, mas mais evidenciado nas nações com maiores PIBs.

Como a técnica DEA e suas extensões mensuram a eficiência de forma comparativa, é possível detectar, entre os países estudados, as DMUs eficientes responsáveis pelo fato de determinada nação ter sido considerada ineficiente (benchmarks). Dessa forma, para cada unidade ineficiente, os modelos DEA fornecem seus respectivos benchmarks, determinados pela projeção dessas unidades na fronteira de eficiência; ou seja, os benchmarks são as DMUs eficientes que atuam como referência para as ineficientes na obtenção de eficiência, projetando essas unidades na fronteira.

Os cinco principais benchmarks no modelo sob disposição natural e retornos variáveis são Sri Lanka, Egito, Itália, Arábia Saudita e Suíça. Esses e outros benchmarks diferenciam-se quanto às dimensões produtivas, econômicas e territoriais, localização, matrizes energéticas, proporções entre insumos e produtos, entre outros fatores. Tais diferenças indicam que uma única DMU normalmente não pode ser a referência para um conjunto de unidades ineficientes com características tão heterogêneas. Assim, diante da heterogeneidade das 109 nações analisadas, cabe também uma diversidade entre as unidades de referência, o que foi constatado neste trabalho.

Baseado nos benchmarks para cada propriedade ineficiente é possível mensurar as reduções possíveis nas emissões de gases após a correção das ineficiências. Dessa forma, as emissões mundiais de gases totais (CO<sub>2</sub> e outras emissões), corrigindo apenas os problemas de ineficiência técnica, podem ser reduzidas em 7,26%. No caso de ajustes tanto técnicos quanto de escala tal redução poderia atingir 44,40% das emissões globais de 2014. Tais percentuais tornam-se ainda mais relevantes ao compará-los com as metas propostas no Protocolo de Quioto, em 1997, que estabeleciam redução média de emissões de gases do efeito estufa de 5% (MOREIRA e GIOMETTI, 2008).

Ao mudar a análise para o modelo sob disposição gerencial, em que o desempenho ambiental dos países é tão importante quanto seu desempenho operacional, constata-se, pela Figura 5, a redução do número de países com indicadores elevados de eficiência. Os níveis de eficiência de cada país, considerando o modelo sob disposição gerencial, encontram-se na Tabela A.1, no Apêndice.

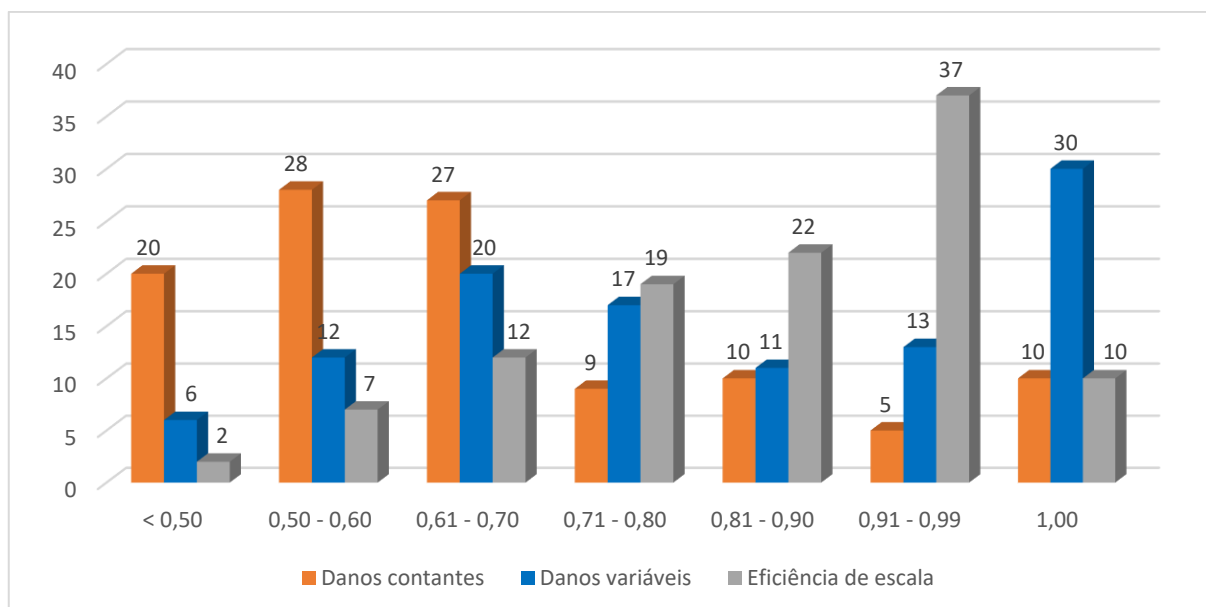


Figura 5: Distribuição dos países segundo os intervalos de medidas de eficiências técnica e de escala, obtidas no modelo sob disposição gerencial

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que 68,81% dos países estudados encontram-se com eficiência abaixo de 0,70, pressupondo danos constantes à escala, sendo que a média é de 0,6565 e o mínimo de 0,3459 (Cazaquistão). Já na pressuposição de retornos variáveis, a média de eficiência é de 79,25% e a eficiência mínima pertence à Bolívia (40,68%). Na análise da eficiência de escala, novamente a China desponta como a mais ineficiente, com indicador de 0,3841. Esses e outros resultados também podem ser observados na Tabela 4, que apresenta as estatísticas das eficiências dos países, sob disposição gerencial, separados em grupos segundo o volume de emissão de CO<sub>2</sub>.

Tabela 4: Estatísticas das eficiências dos países, sob disposição gerencial, separados em grupos segundo o volume de emissão de CO<sub>2</sub>

Países	Modelo	Média	Máximo	Mínimo	Desvio padrão
Maiores emissores de CO <sub>2</sub> (50)	CDS	0,6128	1,0000	0,3459	0,1563
	VDS	0,8052	1,0000	0,4084	0,1850
	SEM	0,7757	1,0000	0,3841	0,1520
Menores emissores de CO <sub>2</sub> (59)	CDS	0,6936	1,0000	0,3686	0,1915
	VDS	0,7817	1,0000	0,4068	0,1734
	SEM	0,8875	1,0000	0,5574	0,1306
Todos	CDS	0,6565	1,0000	0,3459	0,1800
	VDS	0,7925	1,0000	0,4068	0,1784
	SEM	0,8362	1,0000	0,3841	0,1509

\* CDS: danos constantes; VDS: danos variáveis; SEM: eficiência de escala

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 4 indica que, em média, os maiores emissores de CO<sub>2</sub> (que em sua maioria são os maiores PIBs) apresentam eficiência pura superior à média dos países estudados, apesar de um desvio padrão superior. Já ao analisar a questão da escala, os países que compõem o grupo dos menores emissores de CO<sub>2</sub> se sobressaem, com valor médio bem superior aos maiores poluidores e à média geral.

Na análise da distribuição geográfica dos países, de acordo com as medidas de eficiência (danos variáveis) obtidas no modelo sob disposição gerencial, observa-se que as nações eficientes são semelhantes ao modelo sob disposição natural, com algumas exceções. Dos dez maiores emissores de CO<sub>2</sub> no ano de 2014<sup>23</sup>, apenas Coreia do Sul (0,8602) e Canadá (0,7617) não são 100% eficientes. Já das dez maiores economias do mundo, apenas o Reino Unido (0,9569) não atingiu a eficiência máxima. Os países com os menores níveis de eficiência encontram-se dispersos sobre todos os continentes, não encontrando fatores geográficos que justifiquem tais ineficiências.

Ao analisar a eficiência de escala, sob disposição gerencial, observa-se um número considerável de países ineficientes, destacando países 100% eficientes sob retornos variáveis (China, Rússia, Estados Unidos, Japão, Índia, Alemanha, Brasil, Indonésia, entre outros). Verifica-se, ainda, que todos os países ineficientes quanto à escala apresentam retornos crescentes a danos, ou seja, os danos crescem a taxas marginais crescentes. Isso reforça a importância de traçar estratégias para reduzir os impactos negativos ao meio ambiente, pois a possibilidade de danos pode ser ainda maior em conjunturas de crescimento econômico insustentáveis.

Para as DMUs eficientes quanto à escala, ou seja, que apresentam danos constantes à escala, não é recomendado, mas aceitável, manter a dimensão produtiva atual. Já para os países ineficientes, recomenda-se a diminuição do tamanho atual da matriz produtiva. Como tal tipo de redução não é uma solução trivial ao analisar uma economia nacional, sugere-se que a DMU desenvolva e utilize inovações em tecnologia ecológica (ecotecnologia) para a proteção ambiental.

Os cinco principais benchmarks no modelo sob disposição gerencial e retornos variáveis são Suíça, Níger, Suécia, França e Angola. Assim como no modelo sob disposição natural, observa-se que esses e outros benchmarks apresentam características heterogêneas, que se enquadram como referências para as diferentes DMUs ineficientes.

---

<sup>23</sup> Os dez maiores emissores de CO<sub>2</sub> no ano de 2014 são: China, Estados Unidos, Índia, Rússia, Japão, Alemanha, Arábia Saudita, Coreia do Sul, Canadá e Brasil.

Baseado nos benchmarks, a redução possível na emissão mundial de gases totais (CO<sub>2</sub> e outras emissões), corrigindo apenas os problemas de ineficiência técnica, atinge 7,55%. No caso de ajustes tanto técnicos quanto de escala tal redução poderia atingir 29,29% das emissões globais de 2014.

Apesar das reduções no modelo sob disposição gerencial apresentar reduções similares (para ajustes técnicos) e até inferiores (no caso de correções de escala), o desenvolvimento de ecotecnologias, base da modelagem sob disposição gerencial, pode gerar retornos substanciais no longo prazo, superando, inclusive, os ganhos auferidos sob a modelagem natural.

Diante dos resultados apresentados, tanto no modelo sob disposição natural quanto na modelagem sob disposição gerencial, observa-se importantes fatores de ineficiência, principalmente relacionados à escala. Ademais, ao colocar o desempenho ambiental como prioridade, no modelo sob disposição gerencial, as ineficiências tornam-se ainda mais evidentes. Dessa forma, acredita-se que as políticas internacionais para redução dos efeitos danosos ao meio ambiente possam propor metas às nações, balizadas por indicadores de eficiência como os aqui propostos, mas sempre considerando as especificidades e dificuldades políticas, econômicas e institucionais de cada nação.

A busca pela eficiência sob disposição natural tem um interesse mais individual da nação, pelo fato de estabelecer o desempenho operacional como prioridade, já a eficiência sob disposição gerencial tem um interesse mais social, e poderia definir-se como pauta nos debates sobre as políticas globais de mitigação das emissões de gases danosos ao meio ambiente. As figuras 6 e 7 apresentam as relações entre os níveis de eficiência, pressupondo retornos constantes e eficiência de escala, respectivamente, nos dois modelos analisados (natural e gerencial).

Observa-se, na Figura 6, que todos os dez maiores emissores globais de CO<sub>2</sub>, em 2014, com exceção da Arábia Saudita, estão com níveis de eficiência abaixo da média, sob disposição gerencial. Como já discutido, tais níveis de ineficiência devem-se, quase exclusivamente, aos problemas de escala, o que pode ser constatado ao comparar as figuras 6 e 7. Ademais, diversos países que precisam buscar a eficiência unificada sob disposição gerencial são nações consideradas ricas e que possuem capital financeiro e humano na promoção de ecotecnologias, sendo passível, portanto, que promovam ganhos de eficiência com relação ao desempenho ambiental.

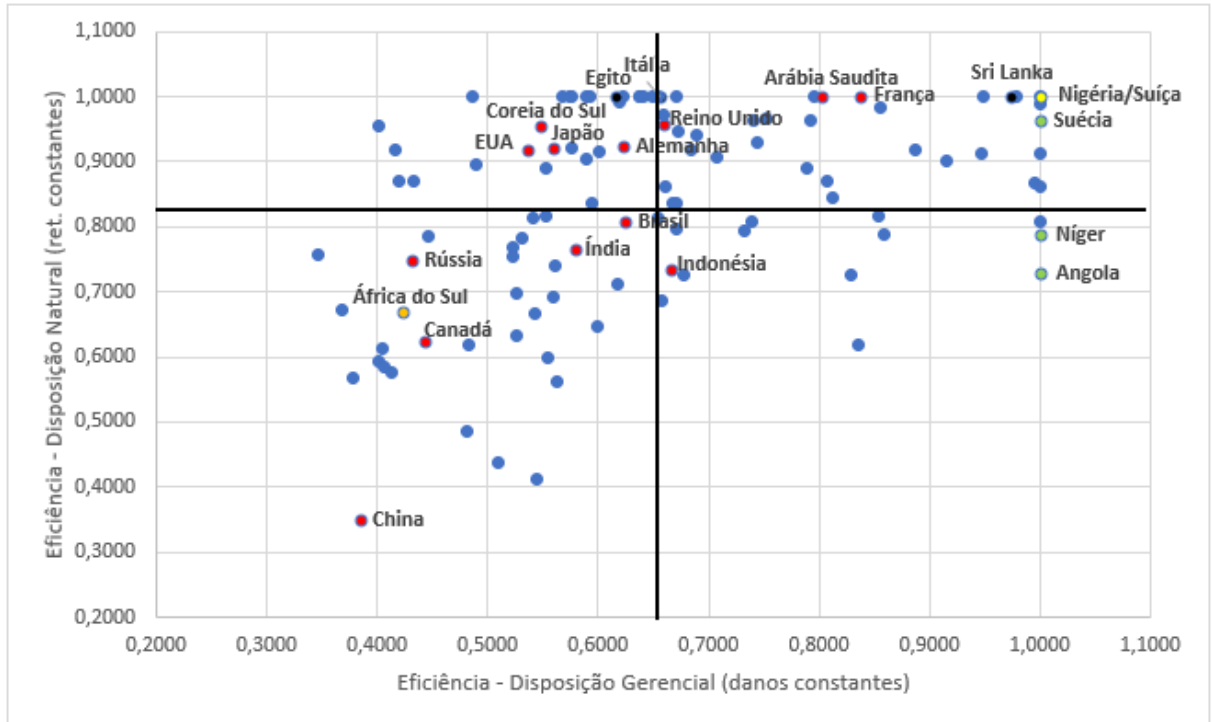


Figura 6: Distribuição dos países conforme resultados obtidos nos modelos de eficiência, sob disposição natural e gerencial

\* As linhas pretas vertical e horizontal demarcam as médias dos dados em cada eixo

Fonte: Resultados da pesquisa.

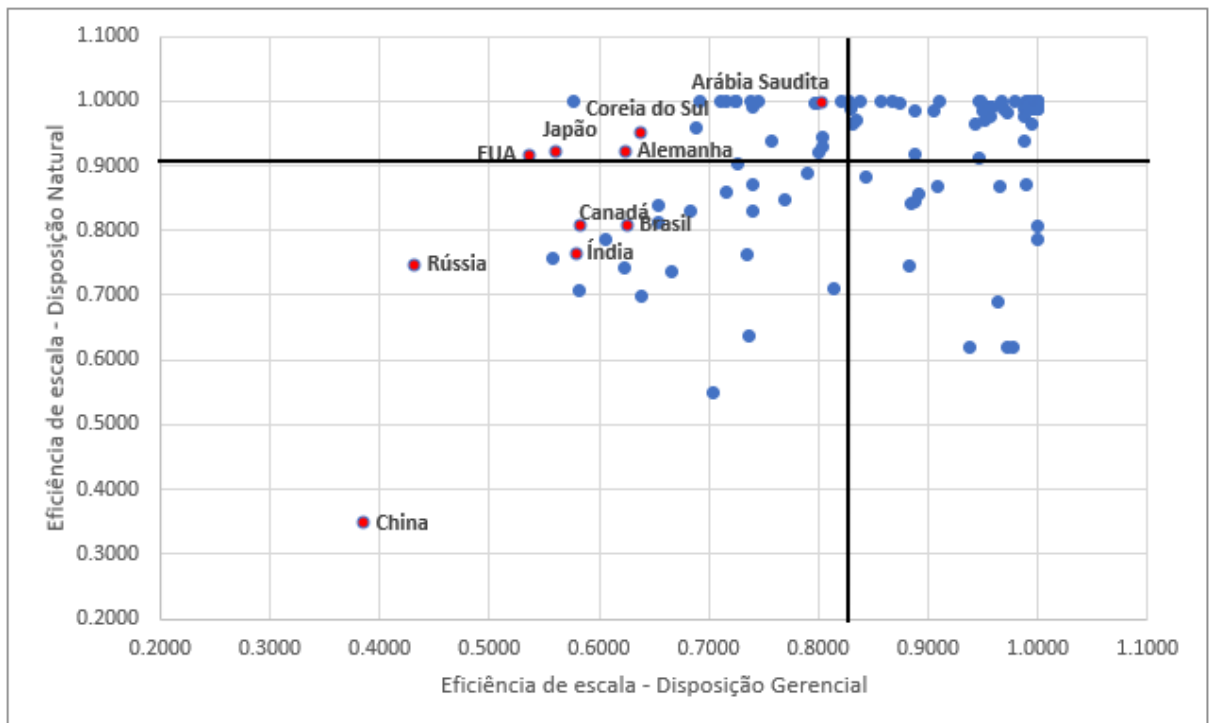


Figura 7: Distribuição dos países conforme resultados obtidos nos modelos de eficiência de escala, sob disposição natural e gerencial

\* As linhas pretas vertical e horizontal demarcam as médias dos dados em cada eixo

Fonte: Resultados da pesquisa.

Um outro ponto que pode ser destacado nas figuras 6 e 7 refere-se ao posicionamento dos países que compõem o BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Com exceção da África do Sul, a ineficiência desses países refere-se à escala (retornos e danos), reforçando a ocorrência do rebound effect em países em desenvolvimento e o papel da escala na análise do desempenho ambiental das nações.

O destaque quantitativo encontrado no papel da escala para a sustentabilidade ambiental já é conhecido na literatura da Economia Ecológica que, preocupada com a base finita de recursos, hierarquiza os objetivos, de forma que o conceito de escala do sistema econômico e a distribuição adequada dos recursos antecedem a eficiência técnica e alocativa, conforme apresentado por Daly (1992) e Andrade (2012). Contudo, neste trabalho, ambos conceitos (pura eficiência e escala) são destacados, principalmente pelo fato de os problemas de escala apresentarem uma complexidade maior de serem sanados, conforme exposto por Fuks (2012).

Os únicos países que apresentaram eficiência máxima em todos os modelos foram Nigéria e Suíça, que possuem, respectivamente, os 20º e 35º maiores PIBs e são as 35ª e 56ª maiores emissoras de CO<sub>2</sub> entre as 109 economias estudadas. A Nigéria, apesar de apresentar indicadores socioeconômicos ruins, apresenta grandes riquezas econômicas, com reservas de recursos naturais, como petróleo, gás natural, carvão e outros minerais. A matriz energética nigeriana, em 2014, foi composta basicamente pelo gás natural (83%) e pelas hidroelétricas (16%). Por sua vez, a Suíça foi considerada a nação mais sustentável do mundo, segundo o Environmental Performance Index 2014<sup>24</sup> (HSU et al., 2014), além de figurar-se entre os maiores PIBs per capita do mundo (5º entre as 109 economias deste estudo).

Um fato que deve ser evidenciado neste trabalho é que as medidas de eficiência calculadas não levam em consideração ponderações acerca dos níveis de desenvolvimento de cada DMU, de forma que um país pode apresentar níveis de desenvolvimento econômico consideravelmente baixos e, mesmo assim, ser considerado eficiente sob uma ótica meramente técnica. Contudo, é inaceitável concluir que nações com altos níveis relativos de eficiência, como Nigéria, Sri Lanka, República Democrática do Congo e Tanzânia, não precisam melhorar seus processos produtivos e a tecnologia envolvida nos mesmos. O que

---

<sup>24</sup> O Environmental Performance Index (EPI) analisa dois grupos de critérios: saúde ambiental (o quanto os problemas ambientais afetam a saúde e o bem-estar da população) e vitalidade de ecossistemas (inclui agricultura, ar, biodiversidade, mudança do clima, estoque pesqueiro, florestas e recursos hídricos).

pode ser observado é que uma nação pobre, mas eficiente no presente modelo, consegue os melhores resultados possíveis com os recursos (insumos) que dispõe.

#### 4.2 A ocorrência de congestionamentos desejáveis e indesejáveis na economia mundial

Essa seção considera a análise de eficiência com a possibilidade de congestionamentos na produção. A identificação da congestão indesejável (UC) é importante para evitar um aumento nos custos e uma falta de capacidade produtiva no país. Já a identificação do congestionamento desejável (DC) é fundamental em termos do crescimento sustentável, no qual a inovação de ecotecnologia pode efetivamente reduzir a quantidade de vários tipos de poluentes.

A ocorrência de congestão indesejável (UC) é um fenômeno no qual um aumento em alguns insumos diminui alguns produtos desejados, mas mantêm, ou mesmo amplia, os resultados indesejados. A expectativa é que um aumento nos insumos leve a um aumento em alguns componentes de vetores de saída desejáveis e indesejáveis. Tal ocorrência de UC pode ser encontrada nas diversas atividades econômicas de um país (agricultura, indústria e serviços). A Tabela A.2 (Apêndice) apresenta a análise dos países considerando a possibilidade de UC, com a classificação desta UC (fraca e forte), quando de sua ocorrência.

Observa-se que a maioria dos países exibem a condição de UC forte (77,1% ou 84 países), indicando que tais nações podem enfrentar a ocorrência de um limite de capacidade na produção. Características geográficas e níveis de desenvolvimento econômico não influenciam no fato do país apresentar ou não UC; ademais, não há países que apresentam UC fraca. A presença de UC pode tornar-se um sério empecilho à alocação eficiente dos insumos no processo produtivo.

Já a possibilidade de ocorrência de congestão desejável (DC) ocorre quando um aumento em alguns insumos diminui alguns resultados indesejados, sem prejudicar a produção dos bens e serviços desejáveis. A ocorrência de DC somente é possível devido a inovação em ecotecnologia. A Tabela A.2 (Apêndice) apresenta a análise dos países considerando a possibilidade de DC, com a classificação desta DC (fraca e forte), quando de sua ocorrência.

A condição de DC é encontrada em um número limitado de países, se comparada à UC: dois países (China e Tanzânia) exibem a possibilidade de DC fraca e 20 países<sup>25</sup> apresentam a condição de DC forte.

Ao analisar os países com possibilidade de congestão desejável é possível realizar, de maneira geral, duas constatações. Primeiramente, esses países apresentam baixa produtividade energética (PIB/energia) e, conseqüentemente, reduzida razão PIB/CO<sub>2</sub> – visto que o consumo de energia é essencial para o setor produtivo dos países e este consumo é responsável por parte considerável das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases poluentes –, tal como evidenciado por diversos estudos empíricos, como Quadrelli e Peterson (2007), Halicioglu (2009) e Nejat et al. (2015). Observa-se, também, um valor alto na razão entre os insumos Consumo de Energia e Formação Bruta de Capital Fixo (energia/FBCF) para as nações pertencentes a esse grupo, indicando que os investimentos produtivos, inclusive em tecnologias poupadoras de energia, podem estar aquém do desejado.

Dessa forma, se faz plausível indicar que o aumento do insumo FBCF, especialmente em tecnologias limpas para matriz energética, ampliaria a produtividade e qualidade ambiental da energia. Por conseguinte, reduzir-se-ia as emissões de CO<sub>2</sub> e outros poluentes, tipificando o conceito de congestionamento desejável. Ademais, o acréscimo da FBCF poderia ocasionar a elevação do PIB e seus resultados, fazendo com que os países com DC forte alcançassem tanto a sustentabilidade econômica quanto a ambiental.

Contudo, cabe ressaltar que não é tão simples, principalmente para os países mais pobres, ampliar o estoque de capital. Apesar disso, políticas globais de mitigação dos efeitos danosos ao meio ambiente, através de investimentos globais em matrizes energéticas limpas, podem ser uma alternativa para que os benefícios da congestão desejável sejam efetivamente alcançados.

Entre os países com possibilidade de congestão desejável, apesar da indicação de DC fraca, destaca-se a China. Mesmo apresentando desafios internos para alcançar a sustentabilidade ambiental, tal como o interesse em manter elevado o crescimento econômico, o governo despense cada vez mais esforços para mitigar as elevadas taxas de emissão de gases do efeito estufa. Nesse sentido, os chineses agem em duas frentes: doméstica e internacional. Na primeira esfera, as estratégias ambientais traçam desde nortes

---

<sup>25</sup> África do Sul, Austrália, Bahrain, Bósnia e Herzegovina, Canadá, Coreia do Sul, Costa do Marfim, Estônia, Finlândia, Gabão, Gana, Geórgia, Moçambique, Moldávia, Nepal, Omã, Quirguistão, Togo, Ucrânia e Zimbábue.

mais gerais, como a adoção do desenvolvimento sustentável como orientação chave; até objetivos mais específicos, tais como a Campanha Nacional de Arborização e o desenvolvimento de energias renováveis e de baixo carbono (MOREIRA e RIBEIRO, 2016). No plano externo, a participação a encontros e conferências globais e aderência às metas propostas demonstram a importância atribuída pelos chineses à ordem ambiental internacional para conter as mudanças climáticas (MOREIRA e RIBEIRO, 2016). Além disso, o desenvolvimento do sistema de comércio de emissões de carbono, iniciado em 2011, e de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) pelas autoridades chinesas podem estar contribuindo para que o país alcance novos patamares de sustentabilidade ambiental (VITAL, 2018).

Como resultado desses esforços, em 2014, apesar da alta taxa de poluição, as emissões de  $CO_2$  foram estabilizadas (WEF, 2015), expondo que a China, embora seja um país com desafios internos (grandes dimensões territorial, populacional e econômica), busca a sustentabilidade ambiental, configurando-se como uma nação com potencial de congestão desejável.

#### 4.3 Análise temporal da eficiência unificada

Essa seção apresenta uma análise da evolução das medidas de eficiência ao longo do tempo, através do índice de Malmquist, considerando os conceitos de disposição natural e gerencial. Uma variação positiva do índice de Malmquist, sob disponibilidade natural, indica um potencial de crescimento econômico. Enquanto isso, uma mudança de índice sob disponibilidade gerencial implica em um potencial de prevenção nos danos ambientais. Ambas as medidas, combinadas, implicam um potencial total sobre como alcançar o nível mais alto de sustentabilidade.

A Tabela A.3 (Apêndice) resume os índices de Malmquist dos 109 países sob disposição natural. Verifica-se que os ganhos de eficiência, sob disposição natural, são encontrados em países de todos os continentes, apesar da maior concentração estar na Europa. Já as perdas de eficiência estão concentradas nos países asiáticos e africanos.

Observa-se, ainda, que os ganhos/perdas de eficiência, mensurados pelo índice de Malmquist, não apresentam relações diretas com o crescimento econômico dos países (variação do PIB), nem com as variações das emissões nos períodos. Contudo, pode-se verificar que os países que apresentaram as maiores perdas de eficiência apresentam,

também, baixos indicadores de Competitividade Global (WEF, 2014), principalmente em subíndices relacionados a fatores de inovação.

No período pesquisado neste trabalho (2006-2014), o índice de Malmquist médio, sob disposição natural foi de 0,9308, indicando perda de eficiência unificada global. Tal redução deve-se, principalmente, ao período 2006-2008, que apresentou indicador médio de 0,938, justificado pelos problemas enfrentados em decorrência da crise econômica mundial, iniciada em 2007 e que estendeu-se por todo o ano de 2008. O único período que apresentou ganhos de eficiência foi entre 2010 e 2012 (1,010). Já o país que apresentou maior ganho de eficiência, sob disposição natural, foi o Panamá, com ganho de 21,5% entre 2006 e 2014; enquanto a maior perda foi auferida pelo Cazaquistão (0,621 ou perda de 37,9%).

O Panamá é considerado um dos países mais competitivos da América Latina, possuindo boas infraestruturas de transporte, financeira e tecnológica, especialmente através de investimentos de empresas multinacionais estrangeiras estabelecidas no país (WEF, 2014). Entre 2006 e 2014, o PIB per capita panamenho foi superior à média latino-americana e caribenha, o PIB total mais que dobrou e o volume de emissões de CO<sub>2</sub> variou menos que 40% entre os anos analisados, corroborando com os ganhos de eficiência auferidos neste período. Por outro lado, no Cazaquistão, a razão entre crescimento das emissões e evolução do PIB é muito superior ao caso do Panamá, principalmente pelo fato da matriz energética do país ser baseada quase totalmente em combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo) e apenas 1,1% em energias renováveis. Ademais, o país apresenta baixos indicadores de inovação (WEF, 2014), que conjugados com as outras características já mencionadas, justificam as consideráveis perdas de eficiência no período de 2006 a 2014.

Ao considerar o índice de Malmquist (2006-2014) dos países sob disposição gerencial, observa-se que os ganhos de eficiência, entre 2006 e 2014, são mais presentes nos países estudados, ao comparar com o modelo sob disposição natural. Esses ganhos apresentam-se em um período em que a questão ambiental está em evidência no cenário internacional, com o pleno vigor do Protocolo de Quioto (1997) e o Acordo Climático Global proposto na Conferência de Bali (2007). Tais acordos estabeleciam a implementação de financiamentos e fundos de investimentos em medidas ambientais e transferência de tecnologia entre nações, garantindo ganhos de ecotecnologias que podem ter influenciado nos resultados do índice de Malmquist já no curto prazo. Todos os índices de Malmquist dos 109 países calculados sob disposição gerencial encontram-se resumidos na Tabela A.4, em apêndice.

O índice de Malmquist médio, sob disposição gerencial, indica estabilidade no período 2006-2014 (1,0031). Essa ligeira estabilidade pode ser observada em todos os períodos (2006-2008: 0,996; 2008-2010: 0,986; 2012-2014: 0,986), com exceção do período entre 2010 e 2012 que apresentou indicador médio de 1,034.

O país que apresentou maior ganho de eficiência, sob disposição gerencial, entre 2006 e 2014, foi a Suíça (1,206 ou ganho de 20,6%), ao passo que a maior perda foi auferida pelo Congo (0,629 ou perda de 37,1%). A Suíça faz altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, possui centros de pesquisa conceituados e cooperados com o mercado, tornando um dos países que mais inovam no mundo. Tais fatores, aliados a um elevado nível de capital humano, garantem ganhos de produtividade, principalmente em setores de elevado valor agregado, definindo a Suíça como liderança no Índice de Competitividade Global (WEF, 2014) durante todo o período compreendido nesse estudo. Todas essas características, aliadas a instituições sólidas e preocupadas com a sustentabilidade, projetam e justificam os ganhos de eficiência unificada da Suíça mensurados neste trabalho.

Já o Congo, um dos países com mais recursos naturais do continente africano, tem a sua economia baseada na agricultura, petróleo e recursos florestais. Diante de problemas de escassez de água salubre, conflitos internos entre milícias armadas e os altos índices de desigualdade socioeconômica, é complicada a gestão exploratória dos recursos naturais congolezes, principalmente os florestais. Tais fatores podem não ser observados ao realizar uma análise da eficiência em um dado período, mas refletem consideravelmente na evolução da eficiência do país ao longo dos anos, como pode ser observado nos resultados apresentados neste trabalho.

Os resultados da análise temporal indicam que a maioria dos países alcançaram ganhos de eficiência em seus desempenhos econômico (62 países) e ambiental (84 países) no período de 2006 a 2014. Contudo, tais ganhos foram baixos, o que, somado às perdas significativas experimentadas pelos demais países, resultaram em perda de eficiência global sob disposição natural e estabilidade da eficiência global sob disposição gerencial. Dessa forma, os países devem analisar a existência de fatores conjunturais que possam estar impedindo ganhos de eficiência ao longo dos anos. Ademais, é papel dos fóruns globais o estabelecimento de estratégias que possam alavancar os ganhos de eficiência global, principalmente de caráter ambiental. A difusão de ecotecnologias para regiões mais pobres, por exemplo, pode ser uma alternativa interessante para o planejamento sustentável global.

## 5. Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar, por meio da metodologia de análise envoltória de dados e suas extensões, a eficiência unificada de 109 países, considerando duas vertentes de prioridade: a produtiva ou operacional e a ambiental. Além de considerar as disposições natural e gerencial, foram analisadas, ainda, a dinâmica temporal das eficiências e a possível existência de congestionamentos nos processos produtivos.

Os resultados indicaram que fatores locacionais não influenciaram os níveis de eficiência, seja sob disposição natural ou gerencial. Também não foi identificada uma relação entre níveis de eficiência e o desenvolvimento econômico das nações. Os países eficientes apresentaram heterogeneidades em suas estruturas produtivas e econômicas e, conseqüentemente, nas combinações entre os insumos e produtos, possibilitando um maior número de ajustes possíveis para as unidades consideradas ineficientes. Outro ponto de destaque foi a ineficiência de escala, principalmente nas nações mais ricas e mais poluidoras, indicando que o fator escala tem papel relevante na gestão de uma eficiência que considera tanto fatores operacionais quanto ambientais.

Ao analisar a presença de congestão, observa-se que o congestionamento indesejável está presente na maioria das nações, enquanto o congestionamento desejável - priorizado em uma análise que preza pela sustentabilidade - está presente em pequena parte do grupo de países analisados. Por sua vez, a análise temporal, mensurada pelo índice de Malmquist, indica que pouco foi alterado na dinâmica da eficiência unificada nos anos analisados (2006-2014), mesmo diante dos evidenciados debates sobre mudanças climáticas.

As análises realizadas indicaram a possibilidade de reduções consideráveis nas emissões de gases poluidores caso os países fossem projetados para a fronteira de eficiência. Se essa projeção ocorrer por meio de desenvolvimento de ecotecnologias, base da modelagem sob disposição gerencial, pode-se garantir retornos substanciais e consistentes no longo prazo, permitindo, inclusive, metas mais audaciosas de redução das emissões de gases do efeito estufa.

Dessa forma, acredita-se que indicadores de eficiência como os aqui propostos, principalmente a eficiência sob disposição gerencial, poderiam contribuir nos debates sobre as políticas globais de mitigação das emissões de gases do efeito estufa. Sugere-se, ainda, que haja investimentos globais em matrizes energéticas limpas, potencializando as possibilidades de congestionamentos desejáveis. Nesse sentido, reforça-se o papel das

nações mais ricas, a fim de promover investimentos globais na criação e difusão de ecotecnologias.

Em síntese, acredita-se que os resultados apresentados neste trabalho sejam um passo para que abordagens metodológicas, como a análise envoltória de dados e suas extensões, contribuam na definição de políticas ecoeficientes globais. Espera-se, ainda, que extensões futuras deste trabalho, valendo-se da eliminação de limitações encontradas no presente estudo (como a estruturação da base de dados), possam contribuir de forma mais efetiva com a literatura e com a proposição de políticas, ao analisarem todos os fatores conjunturais que possam estar impedindo ganhos de eficiência nos países.

## Referências

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, v. 11, n. 14, p. 1-31, 2012.

BANKER, R. D.; COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. **Returns to Scale in DEA**. Cap. 2. In: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (eds.) *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 2 ed. New York: Springer, 2011.

BANKER, R. D.; ZHENG, Z. E.; NATARAJAN, R. DEA-based hypothesis tests for comparing two groups of decision making units. **European Journal of Operation Research**, v. 206, n. 1, p. 231-238, 2010. DOI: 10.1016/j.ejor.2010.01.027

BINSWANGER, M. Technological progress and sustainable development: what about the rebound effect? **Ecological Economics**, v. 36, n. 1, p. 119-132, 2001. DOI: 10.1016/S0921-8009(00)00214-7

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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.166

CAMIOTO, F. C.; MORALLES, H. F.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. N. Energy efficiency analysis of G7 and BRICS considering total-factor structure. **Journal of Cleaner Production**, v. 122, p. 67-77, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.02.061

COELLI, T. J.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2 ed. New York: Springer, 2005. 349 p. DOI: 10.1007/b136381

COOPER, W. W.; DENG, H.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. **Congestion: Its Identification and Management with DEA**. Cap. 7. In: COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. (eds.) *Handbook on Data Envelopment Analysis*. 2 ed. New York: Springer, 2011.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; ZHU, J. **Handbook on Data Envelopment Analysis**. 2 ed. New York: Springer, 2011. 498 p. DOI: 10.1007/978-1-4419-6151-8

DALY, H. E. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable. **Ecological Economics**, v. 6, n. 3, p. 185-193, 1992. DOI: 10.1016/0921-8009(92)90024-M

FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 389 p.

FUKS, M. Reflexões sobre o paradigma da economia ecológica para a gestão ambiental. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 105-120, 2012.

GEORGESCU-ROEGEN, N. The entropy law and the economic process in retrospect. **Eastern Economic Journal**, v. 12, n. 1, p. 3-25, 1986.

GOTO, M.; OTSUKA, A.; SUEYOSHI, T. DEA (Data Envelopment Analysis) assessment of operational and environmental efficiencies on Japanese regional industries. **Energy**, v. 66, p. 535-549, 2014. DOI: 10.1016/j.energy.2013.12.020

HALICIOGLU, F. An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. **Energy Policy**, v. 37, n. 3, p. 1156-1164, 2009. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.11.012

HATFIELD-DODDS, S.; SCHANDL, H.; NEWTH, D.; OBERSTEINER, M.; CAI, Y.; BAYNES, T.; WEST, J.; HAVLIK, P. Assessing global resource use and greenhouse emissions to 2050: with ambitious resource efficiency and climate mitigation policies. **Journal of Cleaner Production**, v. 144, p. 403-414, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.170

HSU, A.; EMERSON, J.; LEVY, M. A.; SHERBININ, A.; JOHNSON, L.; MALIK, O.; SCHWARTZ, J. D.; JAITEH, M. **The 2014 Environmental Performance Index**. New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy, 2014.

JIN, S. H. The effectiveness of energy efficiency improvement in a developing country: Rebound effect of residential electricity use in South Korea. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5622-5629, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.05.028

KORHONEN, P. J.; LUPTACIK, M. Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, v. 154, n. 2, p. 437-446, 2004. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00180-2

KUMAR, S. Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist–Luenberger index. **Ecological Economics**, v. 56, n. 2, p. 280-293, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.02.004

KUOSMANEN, T.; KORTELAJAINEN, M. Measuring eco-efficiency of production with data envelopment analysis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 9, n. 4, p. 59-72, 2005. DOI: 10.1162/108819805775247846

MARDANI, A.; STREIMIKIENE, D.; BALEZENTIS, T.; SAMAN, M.; NOR, K.; KHOSHNAVA, S. Data Envelopment Analysis in Energy and Environmental Economics: An Overview of the State-of-the-Art and Recent Development Trends. **Energies**, v. 11, n. 8 (2022), p. 1-21, 2018. DOI: 10.3390/en11082002

MARDANI, A.; ZAVADSKAS, E. K.; STREIMIKIENE, D.; JUSOH, A.; KHOSHNOUDI, M. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 1298-1322, 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.030

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B. R. Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa. **Contexto Internacional**, v. 30, n. 1, p. 9-47, 2008. DOI: 10.1590/S0102-85292008000100001

MOREIRA, H. M.; RIBEIRO, W. C. A China na ordem ambiental internacional das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 87, p. 213-234, 2016. DOI: 10.1590/S0103-40142016.30870013

NEJAT, P.; JOMEHZADEH, F.; TAHERI, M. M.; GOHARI, M.; MAJID, M. Z. A. A global review of energy consumption, CO2 emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO2 emitting countries). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 843-862, 2015. DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.066

PODINOVSKI, V. V.; KOUSMANEN, T. Modeling weak disposability in data envelopment analysis under relaxed convexity assumptions. **European Journal of Operational Research**, v. 211, n. 3, p. 577-585, 2011. DOI: 10.1016/j.ejor.2010.12.003

QUADRELLI, R.; PETERSON, S. The energy-climate challenge: Recent trends in CO2 emissions from fuel combustion. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5938-5952, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2007.07.001

RAY, S. C. **Data Envelopment Analysis: theory and techniques for economics and operations research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 361 p.

ROY, J. The rebound effect: some empirical evidence from India. **Energy Policy**, v. 28, n. 6-7, p. 433-438, 2000. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00027-6

SOUSA, M. C. S.; STOSIC, B. Jackstrapping DEA Scores for Robust Efficiency Measurement. XX Encontro Nacional de Econometria, Porto Seguro - BA. **Anais**. Rio de Janeiro: SBE, 2003.

SOUSA, M. C. S.; STOSIC, B. Technical Efficiency of the Brazilian Municipalities: Correcting Nonparametric Frontier Measurements for Outliers. **Journal of Productivity Analysis**, v. 24, n. 2, p. 155-179, 2005. DOI: 10.1007/s11123-005-4702-4

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Can environmental investment and expenditure enhance financial performance of US electric utility firms under the clean air act amendment of 1990? **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4819-4826, 2009. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.06.038

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Measurement of a linkage among environmental, operational and financial performance in Japanese manufacturing firms: a use of data envelopment analysis with strong complementary slackness condition. **European Journal of Operational Research**, v. 207, n. 3, p. 1742-1753, 2010a. DOI: 10.1016/j.ejor.2010.07.024

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Should the US Clean Air Act include CO<sub>2</sub> emission control? Examination by data envelopment analysis. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 5902-5911, 2010b. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.05.044

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Operational synergy in the electric utility industry under the influence of US deregulation policy: a linkage to financial performance and corporate value. **Energy Policy**, v. 39, n. 2, p. 699-713, 2011a. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.10.043

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA approach for unified efficiency measurement: assessment of Japanese fossil fuel power generation. **Energy Economics**, v. 33, n. 2, p. 195-208, 2011b. DOI: 10.1016/j.eneco.2010.07.008

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Data envelopment analysis for environmental assessment: comparison between public and private ownership in petroleum industry. **European Journal of Operational Research**, v. 216, n. 3, p. 668-678, 2012a. DOI: 10.1016/j.ejor.2011.07.046

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA radial measurement for environmental assessment and planning: desirable procedures to evaluate fossil fuel power plants. **Energy Policy**, v. 41, p. 422-432, 2012b. DOI: 10.1016/j.enpol.2011.11.003

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Returns to scale and damages to scale under natural and managerial disposability: strategy, efficiency and competitiveness of petroleum firms. **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 645-662, 2012c. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.07.003

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Environmental assessment by DEA radial measurement: U.S. coal-fired power plants in ISO (independent system operator) and RTO (regional transmission organization). **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 663-676, 2012d. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.08.016

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA environmental assessment of coal fired power plants: methodological comparison between radial and non-radial models. **Energy Economics**, v. 34, n. 6, p. 1854-1863, 2012e. DOI: 10.1016/j.eneco.2012.07.008

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Weak and strong disposability vs. natural and managerial disposability in DEA environmental assessment: comparison between Japanese electric power industry and manufacturing industries. **Energy Economics**, v. 34, n. 3, p. 686-699, 2012f. DOI: 10.1016/j.eneco.2011.10.018

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA environmental assessment in a time horizon: Malmquist index on fuel mix, electricity and CO<sub>2</sub> of industrial nations. **Energy Economics**, v. 40, p. 370-382, 2013a. DOI: 10.1016/j.eneco.2013.07.013

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Pitfalls and remedies in DEA applications: how to handle an occurrence of zero in multipliers by strong complementary slackness conditions. **Engineering**, v. 5, v. 5, p. 29-34, 2013b. DOI: 10.4236/eng.2013.55A005

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA radial measurement for environmental assessment: A comparative study between Japanese chemical and pharmaceutical firms. **Applied Energy**, v. 115, p. 502-513, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.014

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Environmental assessment on coal-fired power plants in U.S. north-east region by DEA non-radial measurement. **Energy Economics**, v. 50, p. 125-139, 2015a. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.04.016

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. DEA environmental assessment in time horizon: radial approach for Malmquist index measurement on petroleum companies. **Energy Economics**, v. 51, p. 329-345, 2015b. DOI: 10.1016/j.eneco.2015.07.010

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. Undesirable congestion under natural disposability and desirable congestion under managerial disposability in U.S. electric power industry measured by DEA environmental assessment. **Energy Economics**, v. 55, p. 173-188, 2016. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.01.004

SUEYOSHI, T.; GOTO, M. **Environmental assessment on energy and sustainability by data envelopment analysis**. Oxford: John Wiley & Sons, 2018. 700 p.

SUEYOSHI, T.; GOTO, M.; SHANG, J. Core business concentration vs. corporate diversification in the US electric utility industry: synergy and deregulation effects. **Energy Policy**, v. 37, n. 11, p. 4583-4594, 2009. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.06.013

SUEYOSHI, T.; GOTO, M.; SUGIYAMA, M. DEA window analysis for environmental assessment in a dynamic time shift: performance assessment of U.S. coal-fired power plants. **Energy Economics**, v. 40, p. 845-857, 2013. DOI: 10.1016/j.eneco.2013.09.020

SUEYOSHI, T.; GOTO, M.; UENO, T. Performance analysis of U.S. coal-fired power plants by measuring three DEA efficiencies. **Energy Policy**, v. 38, n. 4, p. 1675-1688, 2010. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.11.017

SUEYOSHI, T.; GOTO, M.; WANG, D. Malmquist index measurement for sustainability enhancement in Chinese municipalities and provinces. **Energy Economics**, v. 67, p. 554-571, 2017. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.08.026

SUEYOSHI, T.; LI, A.; GAO, Y. Sector sustainability on fossil fuel power plants across Chinese provinces: Methodological comparison among radial, non-radial and intermediate approaches under group heterogeneity. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 819-829, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.216

SUEYOSHI, T.; WANG, D. DEA environmental assessment on US petroleum industry: Non-radial approach with translation invariance in time horizon. **Energy Economics**, v. 72, p. 276-289, 2018. DOI: 10.1016/j.eneco.2018.02.003

SUEYOSHI, T.; YUAN, Y. Returns to damage under undesirable congestion and damages to return under desirable congestion measured by DEA environmental assessment with multiplier restriction: economic and energy planning for social sustainability in China. **Energy Economics**, v. 56, p. 288-309, 2016. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.02.014

SUEYOSHI, T.; YUAN, Y. Social sustainability measured by intermediate approach for DEA environmental assessment: Chinese regional planning for economic development and pollution prevention. **Energy Economics**, v. 66, p. 154-166, 2017. DOI: 10.1016/j.eneco.2017.06.008

SUEYOSHI, T.; YUAN, Y. Measuring energy usage and sustainability development in Asian nations by DEA intermediate approach. **Journal of Economic Structures**, v. 7, n. 6, p. 1-18, 2018. DOI: 10.1186/s40008-017-0100-0

SUEYOSHI, T.; YUAN, Y.; GOTO, M. A literature study for DEA applied to energy and environment. **Energy Economics**, v. 62, p. 104-124, 2017. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.11.006

VITAL, M. H. F. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO<sub>2</sub> e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. **BNDES Setorial**, v. 24, n. 48, p. 167-244, 2018.

WORLD BANK. **World Bank Data** (indicadores diversos relativos aos países). Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The Global Competitiveness Report 2014-2015**. Geneva: WEF, 2014. 549 p.

ZAIM, O. Measuring environmental performance of state manufacturing through changes in pollution intensities: a DEA framework. **Ecological Economics**, v. 48, n. 1, p. 37-47, 2004. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2003.08.003

ZHANG, N.; CHOI, Y. A comparative study of dynamic changes in CO<sub>2</sub> emission performance of fossil fuel power plants in China and Korea. **Energy Policy**, v. 62, p. 324-332, 2013. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.07.060

ZHANG, X. P.; CHENG, X. M.; YUAN, J. H.; GAO, X. J. Total-factor energy efficiency in developing countries. **Energy Policy**, v. 39, n. 2, p. 644-650, 2011. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.10.037

ZHOU, H.; YANG, Y.; CHEN, Y.; ZHU, J. Data envelopment analysis application in sustainability: The origins, development and future directions. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 1, p. 1-16, 2018. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.06.023

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. **Energy Economics**, v. 30, n. 1, p. 1-14, 2008. DOI: 10.1016/j.eneco.2006.05.001

## Apêndices

Tabela A.1: Resultados dos modelos de eficiência unificada sob disposição natural e sob disposição gerencial, em 2014

País	Disposição Natural			Disposição Gerencial			País	Disposição Natural			Disposição Gerencial		
	VRS	CRS	SEN	VDS	CDS	SEM		VRS	CRS	SEN	VDS	CDS	SEM
África do Sul	0,7783	0,6699	0,8607	0,5909	0,4233	0,7164	Hungria	0,9739	0,9722	0,9983	0,6652	0,6584	0,9898
Albânia	1,0000	0,8137	0,8137	1,0000	0,6546	0,6546	Índia	1,0000	0,7659	0,7659	1,0000	0,5789	0,5789
Alemanha	1,0000	0,9248	0,9248	1,0000	0,6225	0,6225	Indonésia	1,0000	0,7354	0,7354	1,0000	0,6660	0,6660
Angola	0,7374	0,7299	0,9898	1,0000	1,0000	1,0000	Iraque	0,9094	0,9068	0,9971	0,8876	0,7079	0,7975
Arábia Saudita	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8023	0,8023	Irlanda	1,0000	1,0000	1,0000	0,6597	0,6539	0,9912
Argélia	0,8440	0,8352	0,9896	0,9011	0,6671	0,7403	Israel	0,8155	0,8137	0,9978	0,5479	0,5411	0,9876
Argentina	0,9713	0,8952	0,9217	0,6118	0,4899	0,8008	Itália	1,0000	1,0000	1,0000	0,9166	0,6556	0,7153
Armênia	1,0000	0,6972	0,6972	0,8238	0,5257	0,6381	Jamaica	0,7888	0,5859	0,7428	0,6521	0,4058	0,6223
Austrália	0,8018	0,5675	0,7078	0,6504	0,3784	0,5818	Japão	1,0000	0,9224	0,9224	1,0000	0,5586	0,5586
Áustria	0,9559	0,9401	0,9835	0,7082	0,6889	0,9727	Jordânia	0,8270	0,8155	0,9861	0,6229	0,5530	0,8878
Azerbaijão	0,7985	0,7945	0,9950	0,7333	0,7327	0,9992	Lituânia	1,0000	1,0000	1,0000	0,6595	0,6377	0,9669
Bahrain	0,8649	0,8624	0,9971	0,7559	0,6611	0,8746	Luxemburgo	1,0000	1,0000	1,0000	0,8792	0,6488	0,7379
Bangladesh	0,9719	0,8076	0,8309	1,0000	0,7397	0,7397	Macedônia	0,9999	0,7849	0,7850	0,7353	0,4458	0,6063
Belarus	0,6135	0,6120	0,9976	0,4084	0,4048	0,9912	Malásia	0,9409	0,8892	0,9451	0,6890	0,5535	0,8033
Bélgica	1,0000	1,0000	1,0000	0,7051	0,6416	0,9099	Marrocos	0,7462	0,6468	0,8668	0,6600	0,5991	0,9077
Benin	0,7863	0,4865	0,6187	0,5136	0,4818	0,9381	México	1,0000	0,8374	0,8374	0,9087	0,5940	0,6537
Bolívia	0,6298	0,5918	0,9397	0,4068	0,4016	0,9872	Moçambique	0,7102	0,4390	0,6181	0,5249	0,5101	0,9718
Bósnia e Herzegovina	0,9785	0,9187	0,9389	0,5506	0,4170	0,7574	Moldávia	1,0000	0,7556	0,7556	0,9385	0,5231	0,5574
Botsuana	0,8966	0,7670	0,8555	0,5864	0,5228	0,8915	Namíbia	1,0000	0,7106	0,7106	0,7593	0,6182	0,8142
Brasil	1,0000	0,8087	0,8087	1,0000	0,6245	0,6245	Nepal	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9489	0,9489
Brunei	1,0000	1,0000	1,0000	0,7920	0,5741	0,7249	Nicarágua	0,9756	0,7261	0,7443	0,7675	0,6773	0,8825
Bulgária	0,8889	0,8689	0,9775	0,4382	0,4190	0,9562	Níger	1,0000	0,7875	0,7875	1,0000	1,0000	1,0000
Camarões	0,9140	0,9026	0,9875	0,9185	0,9159	0,9972	Nigéria	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Camboja	1,0000	0,9656	0,9656	0,7562	0,7524	0,9950	Noruega	1,0000	0,9132	0,9132	1,0000	0,9472	0,9472
Canadá	0,7719	0,6253	0,8101	0,7617	0,4431	0,5817	Nova Zelândia	0,7510	0,7412	0,9870	0,5677	0,5603	0,9870
Cazaquistão	0,7584	0,7581	0,9996	0,4180	0,3459	0,8275	Omã	0,8773	0,8666	0,9878	1,0000	0,9944	0,9944
Chile	0,8363	0,8355	0,9990	0,7735	0,6708	0,8672	Panamá	1,0000	1,0000	1,0000	0,9299	0,7962	0,8562
China	1,0000	0,3494	0,3494	1,0000	0,3841	0,3841	Paquistão	1,0000	1,0000	1,0000	0,8143	0,5896	0,7241

continua...

continuação...

Chipre	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,5768	0,5768	Paraguai	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9794	0,9794
Colômbia	1,0000	0,8456	0,8456	0,9132	0,8116	0,8887	Peru	0,9378	0,7889	0,8412	0,9709	0,8586	0,8843
Congo	1,0000	0,8080	0,8080	1,0000	1,0000	1,0000	Polônia	1,0000	0,8704	0,8704	0,5854	0,4331	0,7398
Coreia do Sul	1,0000	0,9542	0,9542	0,8602	0,5480	0,6371	Portugal	1,0000	1,0000	1,0000	0,6384	0,6374	0,9984
Costa do Marfim	0,8449	0,8152	0,9648	0,9057	0,8541	0,9430	Quênia	0,8718	0,8604	0,9869	1,0000	1,0000	1,0000
Costa Rica	1,0000	0,9175	0,9175	1,0000	0,8876	0,8876	Quirguistão	0,7529	0,4136	0,5493	0,7728	0,5446	0,7047
Croácia	0,9360	0,9207	0,9837	0,6362	0,5753	0,9043	Reino Unido	1,0000	0,9585	0,9585	0,9569	0,6593	0,6890
Dinamarca	0,9685	0,9635	0,9948	0,7443	0,7399	0,9941	Rep. Dem. do Congo	1,0000	0,9878	0,9878	1,0000	1,0000	1,0000
Egito	1,0000	1,0000	1,0000	0,8895	0,6160	0,6925	República Dominicana	0,9251	0,9178	0,9921	0,7162	0,6840	0,9550
El Salvador	1,0000	0,9287	0,9287	0,9245	0,7436	0,8043	Romênia	0,9446	0,9157	0,9694	0,6308	0,6004	0,9518
Emirados Árabes Unidos	1,0000	0,9925	0,9925	0,7470	0,6197	0,8296	Rússia	1,0000	0,7485	0,7485	1,0000	0,4311	0,4311
Equador	0,6867	0,6860	0,9990	0,6618	0,6574	0,9934	Senegal	0,7677	0,6663	0,8679	0,5623	0,5432	0,9660
Eslováquia	1,0000	1,0000	1,0000	0,6259	0,5928	0,9471	Sri Lanka	1,0000	1,0000	1,0000	0,9742	0,9742	1,0000
Eslovênia	1,0000	1,0000	1,0000	0,6916	0,5672	0,8201	Suécia	0,9636	0,9632	0,9996	1,0000	1,0000	1,0000
Espanha	1,0000	1,0000	1,0000	0,9005	0,6703	0,7444	Suíça	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Estados Unidos	1,0000	0,9170	0,9170	1,0000	0,5353	0,5353	Tailândia	0,9221	0,7825	0,8486	0,6904	0,5310	0,7691
Estônia	0,8089	0,6722	0,8310	0,5394	0,3686	0,6834	Tajiquistão	0,9936	0,6327	0,6368	0,7152	0,5264	0,7360
Filipinas	1,0000	0,8895	0,8895	1,0000	0,7897	0,7897	Tanzânia	0,9226	0,9122	0,9887	1,0000	1,0000	1,0000
Finlândia	0,8044	0,7953	0,9887	0,6921	0,6710	0,9695	Togo	1,0000	0,6198	0,6198	0,8549	0,8358	0,9777
França	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,8375	0,8375	Tunísia	0,9128	0,9054	0,9919	0,6141	0,5885	0,9583
Gabão	1,0000	0,8708	0,8708	0,8156	0,8067	0,9891	Turquia	1,0000	1,0000	1,0000	0,8772	0,6229	0,7101
Gana	0,7345	0,7263	0,9888	1,0000	0,8295	0,8295	Ucrânia	0,9597	0,9552	0,9953	0,5021	0,4010	0,7986
Geórgia	0,7383	0,5628	0,7623	0,7648	0,5620	0,7348	Uruguai	1,0000	0,9841	0,9841	0,9017	0,8560	0,9493
Grécia	1,0000	1,0000	1,0000	0,4870	0,4859	0,9977	Venezuela	0,5964	0,5749	0,9640	0,4956	0,4122	0,8317
Guatemala	0,9864	0,9630	0,9763	0,8016	0,7920	0,9880	Vietnã	0,6867	0,6200	0,9029	0,6648	0,4827	0,7261
Holanda	0,9729	0,9453	0,9716	0,8065	0,6727	0,8341	Zimbábue	1,0000	0,6912	0,6912	0,5797	0,5590	0,9643
Honduras	0,6766	0,5978	0,8835	0,6567	0,5541	0,8438							

\* CRS: retornos constantes; VRS: retornos variáveis; SEN: eficiência de escala; CDS: danos constantes; VDS: danos variáveis; SEM: eficiência de escala

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A.2: Resultados das presenças de congestionamento indesejável (UC) e congestionamento desejável (DC)

País	UC	DC	País	UC	DC	País	UC	DC	País	UC	DC
África do Sul	Forte	Forte	Chipre	-	-	Índia	Forte	-	Peru	Forte	-
Albânia	-	-	Colômbia	Forte	-	Indonésia	Forte	-	Polônia	Forte	-
Alemanha	-	-	Congo	Forte	-	Iraque	Forte	-	Portugal	Forte	-
Angola	Forte	-	Coreia do Sul	Forte	Forte	Irlanda	Forte	-	Quênia	Forte	-
Arábia Saudita	-	-	Costa do Marfim	-	Forte	Israel	Forte	-	Quirguistão	Forte	Forte
Argélia	-	-	Costa Rica	-	-	Itália	Forte	-	Reino Unido	Forte	-
Argentina	Forte	-	Croácia	-	-	Jamaica	Forte	-	Rep. Dem. do Congo	Forte	-
Armênia	Forte	-	Dinamarca	Forte	-	Japão	Forte	-	República Dominicana	Forte	-
Austrália	Forte	Forte	Egito	Forte	-	Jordânia	Forte	-	Romênia	Forte	-
Áustria	-	-	El Salvador	Forte	-	Lituânia	-	-	Rússia	Forte	-
Azerbaijão	-	-	Emir. Árabes Unidos	Forte	-	Luxemburgo	-	-	Senegal	Forte	-
Bahrain	Forte	Forte	Equador	Forte	-	Macedônia	Forte	-	Sri Lanka	Forte	-
Bangladesh	Forte	-	Eslováquia	Forte	-	Malásia	Forte	-	Suécia	Forte	-
Belarus	Forte	-	Eslovênia	-	-	Marrocos	Forte	-	Suíça	Forte	-
Bélgica	Forte	-	Espanha	Forte	-	México	-	-	Tailândia	Forte	-
Benin	Forte	-	Estados Unidos	Forte	-	Moçambique	Forte	Forte	Tajiquistão	Forte	-
Bolívia	Forte	-	Estônia	Forte	Forte	Moldávia	-	Forte	Tanzânia	Forte	Fraca
Bósnia e Herzegovina	Forte	Forte	Filipinas	Forte	-	Namíbia	Forte	-	Togo	-	Forte
Botsuana	Forte	-	Finlândia	-	Forte	Nepal	Forte	Forte	Tunísia	Forte	-
Brasil	Forte	-	França	-	-	Nicarágua	-	-	Turquia	Forte	-
Brunei	Forte	-	Gabão	Forte	Forte	Níger	Forte	-	Ucrânia	Forte	Forte
Bulgária	Forte	-	Gana	Forte	Forte	Nigéria	Forte	-	Uruguai	Forte	-
Camarões	Forte	-	Geórgia	-	Forte	Noruega	Forte	-	Venezuela	-	-
Camboja	Forte	-	Grécia	Forte	-	Nova Zelândia	Forte	-	Vietnã	Forte	-
Canadá	Forte	Forte	Guatemala	Forte	-	Omã	-	Forte	Zimbábue	Forte	Forte
Cazaquistão	Forte	-	Holanda	Forte	-	Panamá	-	-			
Chile	-	-	Honduras	-	-	Paquistão	Forte	-			
China	Forte	Fraca	Hungria	Forte	-	Paraguai	Forte	-			

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A.3: Índice de Malmquist dos países, em diferentes períodos, sob disposição natural

País	2006-2008	2008-2010	2010-2012	2012-2014	2006-2014	País	2006-2008	2008-2010	2010-2012	2012-2014	2006-2014
África do Sul	0,8291	0,9922	1,0555	1,0477	0,8814	Hungria	0,9227	1,1155	1,0550	0,9843	1,0750
Albânia	1,0255	1,0277	1,0237	1,0121	1,0108	Índia	0,8599	0,8800	0,9349	1,0071	0,7125
Alemanha	0,9596	1,0729	1,0293	1,0091	1,0563	Indonésia	0,8864	0,9686	1,0614	0,9863	0,9123
Angola	1,0188	1,0227	1,0557	1,0039	1,0532	Iraque	0,8943	0,9306	1,0020	0,9163	0,8369
Arábia Saudita	0,9119	0,9513	0,9752	0,9516	0,8049	Irlanda	1,0205	1,0577	1,0583	0,9956	1,0968
Argélia	0,9458	0,9711	1,0289	0,9789	0,9018	Israel	0,8912	1,1111	1,0541	0,9770	1,0638
Argentina	0,9445	1,0158	1,0332	0,9888	0,9618	Itália	1,0010	1,0478	1,0416	0,9955	1,0759
Armênia	1,0200	1,0277	0,9446	0,9677	0,8948	Jamaica	0,9088	1,0702	0,8520	0,9709	0,9224
Austrália	0,9476	0,9988	0,9903	1,0574	1,0238	Japão	0,9731	1,0299	1,0394	1,0650	1,0523
Áustria	0,9954	1,0321	1,0357	1,0116	1,0615	Jordânia	0,8420	1,0808	1,0101	1,0096	0,9282
Azerbaijão	0,9143	0,9533	0,9823	1,0019	0,9135	Lituânia	0,9196	1,1753	1,0197	0,9864	1,1188
Bahrain	0,7968	0,9656	0,9894	0,9958	0,7304	Luxemburgo	0,9672	1,0489	0,9355	1,1279	1,0614
Bangladesh	0,8963	0,8755	0,9112	0,9988	0,8089	Macedônia	0,8857	1,0009	0,9934	1,0341	0,9193
Belarus	0,8807	1,1462	1,0750	0,9920	1,0370	Malásia	0,9240	0,9564	1,0401	0,9559	0,8807
Bélgica	1,0237	1,0620	1,2160	0,7926	0,8786	Marrocos	1,0704	1,0406	1,0726	0,9947	1,1322
Benin	0,8406	0,7545	0,9714	0,8899	0,6364	México	0,9094	1,0133	1,0500	0,9840	0,9461
Bolívia	0,8740	1,0004	0,9556	0,9689	0,7922	Moçambique	0,9420	0,8876	0,9630	0,9427	0,7910
Bósnia e Herzegovina	0,7847	1,0708	0,9678	1,0123	0,8079	Moldávia	0,8807	0,9864	0,9215	0,9983	0,6894
Botsuana	0,9399	1,0153	1,0035	1,0045	0,9881	Namíbia	0,9571	1,0377	1,0058	0,9815	1,0230
Brasil	0,9531	1,0364	0,9904	0,9963	0,9719	Nepal	0,9129	0,8518	1,0101	0,9121	0,7100
Brunei	0,8932	0,8650	0,8638	1,0161	0,6887	Nicarágua	0,9926	0,8692	0,9369	0,9368	0,7784
Bulgária	0,9037	1,0856	1,0178	1,0613	0,9914	Níger	0,9551	0,9343	0,9765	0,9521	0,8602
Camarões	0,9764	0,9900	0,9697	0,9390	0,8861	Nigéria	1,0437	0,9066	0,9704	0,9681	0,9168
Camboja	0,9718	0,9301	0,9961	0,9257	0,7596	Noruega	1,0048	0,9757	1,0126	1,0122	1,0168
Canadá	0,9328	1,0682	1,0396	1,0384	1,0732	Nova Zelândia	0,9670	1,0584	1,0452	1,0249	1,1031
Cazaquistão	0,8570	0,8774	1,0254	0,8833	0,6214	Omã	0,8978	0,9582	0,9774	0,9686	0,7991
Chile	0,9229	0,9879	1,0471	0,9960	0,9507	Panamá	1,0038	0,9418	1,0339	1,2355	1,2150

continua...

continuação...

China	0,9716	1,0215	1,1070	0,9883	1,0054	Paquistão	0,9921	1,0764	0,9651	1,0142	1,0373
Chipre	0,9625	0,9503	1,0697	1,0672	1,0433	Paraguai	0,9699	1,0176	0,9823	0,9571	0,8945
Colômbia	1,0500	0,9995	0,9841	1,1033	1,1037	Peru	0,9979	1,0128	0,9708	1,0613	1,0051
Congo	0,9602	0,9500	0,9762	0,9562	0,8719	Polônia	0,8507	1,1350	1,0830	1,0617	1,0890
Coreia do Sul	1,0146	0,9499	1,0799	0,9506	1,0158	Portugal	0,9649	1,0544	1,0605	1,0106	1,0798
Costa do Marfim	0,8960	0,9380	0,9793	0,9449	0,8133	Quênia	0,9454	0,8786	0,9554	0,9408	0,8190
Costa Rica	0,9678	1,0044	1,0476	0,9941	1,0197	Quirguistão	0,7932	0,8839	0,9545	1,0092	0,7300
Croácia	0,9548	1,0885	1,0671	1,0078	1,0678	Reino Unido	0,9696	1,0623	1,0490	0,9853	1,0437
Dinamarca	1,0399	1,0129	1,0290	1,0116	1,0641	Rep. Dem. do Congo	0,9806	0,8853	1,0444	0,8133	0,7524
Egito	0,8591	0,9648	1,0324	1,0535	0,9364	República Dominicana	1,0119	1,0155	1,0360	1,0286	1,0806
El Salvador	0,9793	0,8841	0,9359	0,9909	0,7633	Romênia	0,9297	1,0597	1,0687	1,0022	1,0341
Emirados Árabes Unidos	0,8484	0,9734	0,9822	0,9889	0,7919	Rússia	0,8794	0,9394	1,0255	0,9549	0,7150
Equador	1,0272	1,0005	1,0561	1,0017	1,0231	Senegal	0,8297	0,9152	0,8951	0,9571	0,7183
Eslováquia	0,9411	1,1236	1,0939	1,0313	1,1296	Sri Lanka	1,0102	0,9074	1,0228	1,0113	0,9214
Eslovênia	0,9707	1,0884	1,1327	1,0139	1,1411	Suécia	1,0201	0,9981	1,0209	1,0014	1,0366
Espanha	0,9958	1,0312	1,0534	0,9956	1,0904	Suíça	1,0970	0,9620	1,1114	0,9399	1,0827
Estados Unidos	0,8759	1,0750	0,9916	1,0307	0,9733	Tailândia	0,9326	0,9783	0,9977	1,0201	0,9065
Estônia	0,8263	1,2396	1,1003	1,0595	1,0677	Tajiquistão	0,8004	0,7852	0,9583	0,9180	0,6837
Filipinas	0,8968	0,8960	0,9340	1,0117	0,8414	Tanzânia	0,9700	0,9713	0,9784	0,9421	0,8612
Finlândia	0,9820	1,0445	1,0420	1,0134	1,0888	Togo	0,8151	0,8898	0,9725	0,8535	0,6233
França	0,9686	1,0474	1,0314	1,0262	1,0694	Tunísia	0,9272	0,9987	1,0117	1,0042	0,9384
Gabão	0,8190	1,0122	1,0045	1,0145	0,8453	Turquia	0,9635	1,0464	1,0751	1,0067	1,0855
Gana	0,9635	0,9640	0,9265	0,9579	0,8454	Ucrânia	0,8368	0,9899	0,9723	1,0362	0,9169
Geórgia	1,0064	0,8754	0,9293	0,9958	0,7663	Uruguai	0,9224	1,0374	1,0028	0,9979	0,9881
Grécia	1,0032	1,0753	1,0754	1,0562	1,1254	Venezuela	0,8886	1,1131	1,0924	0,9844	0,9849
Guatemala	0,9959	0,9321	0,9783	0,9728	0,8477	Vietnã	0,8324	0,8549	0,9600	0,9964	0,7415
Holanda	0,9783	1,0380	1,0296	0,9743	1,0202	Zimbábue	0,8812	0,6707	0,9833	0,9783	0,6936
Honduras	1,0422	0,9456	0,9092	0,9332	0,8015						

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A.4: Índice de Malmquist dos países, em diferentes períodos, sob disposição gerencial

País	2006-2008	2008-2010	2010-2012	2012-2014	2006-2014	País	2006-2008	2008-2010	2010-2012	2012-2014	2006-2014
África do Sul	1,0117	1,0071	1,0901	0,9478	1,0594	Hungria	1,0018	0,9969	1,0741	0,9845	1,0644
Albânia	1,0207	1,0176	1,0159	0,9964	1,0516	Índia	0,9835	1,0180	1,0729	0,9991	1,0778
Alemanha	0,9976	0,9929	1,0694	0,9792	1,0464	Indonésia	1,0018	1,0042	1,0532	0,9861	0,9524
Angola	1,0791	0,9277	0,9590	0,9238	0,8514	Iraque	1,0381	0,9897	1,0494	0,9717	1,0282
Arábia Saudita	1,0305	0,9882	1,0546	0,9420	1,0143	Irlanda	1,0789	1,0197	1,0350	1,0179	1,1583
Argélia	1,0457	0,9816	1,0171	0,9728	0,9947	Israel	0,9967	0,9942	1,0736	0,9786	1,0519
Argentina	1,0095	1,0067	1,0252	1,0200	1,0575	Itália	1,0067	0,9937	1,0638	1,0033	1,0900
Armênia	0,9960	0,9909	1,0231	1,0133	1,0544	Jamaica	0,9871	1,0032	1,0246	1,0127	1,0497
Austrália	1,0331	1,0077	1,0554	1,0256	1,0876	Japão	0,9984	0,9929	1,0718	0,9768	1,0353
Áustria	1,0123	0,9931	1,0628	1,0087	1,0727	Jordânia	0,9909	1,0018	1,0742	0,9781	1,0412
Azerbaijão	1,0398	0,9565	0,9501	0,9545	0,9742	Lituânia	1,0186	0,9840	1,0220	1,0124	1,0496
Bahrain	1,0078	1,0055	1,0822	0,9407	1,0305	Luxemburgo	0,9947	0,9928	1,0687	0,9849	1,0599
Bangladesh	0,9799	1,0273	1,0606	1,0193	1,0411	Macedônia	0,9895	1,0057	1,0743	0,9956	1,0632
Belarus	1,0164	0,9670	1,0809	1,0226	1,0780	Malásia	1,0144	0,9886	1,0665	0,9682	1,0363
Bélgica	1,0097	0,9905	1,0749	0,9760	1,0569	Marrocos	0,9741	1,0230	1,0604	0,9920	1,0473
Benin	0,9032	0,8700	0,9276	0,9431	0,7401	México	0,9989	0,9992	1,0666	0,9839	1,0449
Bolívia	0,9393	0,9278	0,9488	0,9694	0,7368	Moçambique	1,0029	0,9572	1,0532	0,9209	0,9208
Bósnia e Herzegovina	0,9892	1,0035	1,0907	0,9628	1,0590	Moldávia	0,9917	0,9668	1,0762	1,0269	1,0596
Botsuana	0,9494	0,8810	0,9874	0,9906	0,8227	Namíbia	0,9428	0,9089	0,9856	0,9984	0,8609
Brasil	1,0253	0,9684	0,9797	1,0007	0,9432	Nepal	0,8882	0,8723	0,9002	0,9504	0,7001
Brunei	1,0216	0,9737	0,9944	0,9751	0,9307	Nicarágua	0,9966	0,9783	0,9662	0,9981	0,9464
Bulgária	1,0078	0,9900	1,0793	0,9989	1,0792	Níger	1,0660	0,9041	0,8697	1,0473	0,7961
Camarões	0,9418	0,8955	0,9440	0,9771	0,7949	Nigéria	0,9819	1,0420	1,0518	0,9953	1,0412
Camboja	0,9061	0,8943	0,9332	0,9530	0,7174	Noruega	1,0483	0,9661	1,0753	0,9620	1,0374
Canadá	1,0172	0,9827	1,0844	1,0240	1,0804	Nova Zelândia	1,0166	0,9882	1,0290	1,0298	1,0528
Cazaquistão	1,0117	0,9844	1,0673	0,9667	1,0036	Omã	1,0402	0,9797	1,0307	0,9429	0,9924
Chile	1,0331	0,9828	1,0184	0,9877	1,0127	Panamá	1,0252	1,0213	1,0415	1,0099	1,0959

continua...

continuação...

China	1,0119	1,0175	1,0909	0,9747	1,0956	Paquistão	0,9865	0,9992	1,0296	1,0121	1,0398
Chipre	1,0041	0,9994	1,0690	0,9850	1,0567	Paraguai	0,9290	0,9275	0,9748	0,9924	0,8434
Colômbia	1,0352	1,0044	0,9754	0,9847	0,9949	Peru	0,9843	1,0183	1,0390	0,9997	1,0275
Congo	0,7605	1,0614	0,8574	0,9242	0,6292	Polônia	0,9983	0,9971	1,0803	0,9800	1,0708
Coreia do Sul	1,0131	0,9903	1,0837	0,9534	1,0475	Portugal	1,0056	1,0001	1,0535	1,0234	1,0871
Costa do Marfim	0,9692	0,9848	1,0092	1,0602	1,0502	Quênia	0,9594	0,9862	1,0306	1,0276	0,9878
Costa Rica	0,9757	1,0102	1,0569	0,9881	1,0291	Quirguistão	1,0117	1,0261	1,0846	1,0174	1,1530
Croácia	1,0134	0,9986	1,0546	1,0296	1,0648	Reino Unido	0,9999	0,9927	1,0642	0,9839	1,0667
Dinamarca	1,0313	0,9985	1,0533	1,0171	1,0864	Rep. Dem. do Congo	1,0088	1,3262	0,9509	0,7388	0,7863
Egito	1,0064	1,0002	1,0594	0,9909	1,0458	República Dominicana	0,9876	1,0183	1,0582	1,0023	1,0620
El Salvador	0,9856	1,0138	1,0681	0,9969	1,0530	Romênia	1,0005	1,0010	1,0689	1,0048	1,0670
Emirados Árabes Unidos	1,0099	0,9880	1,0630	0,9656	1,0275	Rússia	1,0074	0,9903	1,0780	0,9698	1,0397
Equador	1,0089	1,0110	1,0505	0,9942	1,0132	Senegal	0,9354	0,9343	0,9505	0,9677	0,8222
Eslováquia	1,0083	0,9955	1,0791	0,9891	1,0718	Sri Lanka	0,9871	1,0158	1,0115	0,9897	1,0159
Eslovênia	1,0070	0,9943	1,0805	0,9982	1,0670	Suécia	1,0334	0,9673	1,0914	0,9906	1,0834
Espanha	0,9988	0,9965	1,0688	0,9918	1,0671	Suíça	1,0477	1,0350	1,0847	1,0165	1,2063
Estados Unidos	1,0104	0,9908	1,0792	0,9654	1,0421	Tailândia	0,9845	1,0080	1,0733	0,9758	1,0432
Estônia	1,0112	0,9931	1,0923	0,9610	1,0558	Tajiquistão	0,9710	0,9265	0,9405	0,9854	0,9209
Filipinas	0,9852	1,0209	1,0536	1,0047	1,0061	Tanzânia	0,9724	0,9287	0,9372	0,9345	0,7359
Finlândia	1,0100	0,9883	1,0895	0,9660	1,0510	Togo	0,8095	0,8807	0,8791	0,9846	0,6458
França	1,0231	0,9858	1,0626	1,0141	1,0643	Tunísia	0,9967	1,0024	1,0632	0,9870	1,0439
Gabão	0,9726	0,9137	0,9721	0,9843	0,9063	Turquia	1,0296	1,0053	1,0727	0,9920	1,0819
Gana	0,9159	0,8984	0,9031	0,9738	0,8381	Ucrânia	1,0090	1,0122	1,0960	0,9807	1,0780
Geórgia	0,9891	1,0038	1,0590	0,9913	1,0666	Uruguai	1,0032	0,9815	0,9873	1,0069	0,9634
Grécia	1,0134	1,0018	1,0762	0,9922	1,1009	Venezuela	1,0356	0,9944	1,0829	0,9810	1,0681
Guatemala	1,0116	1,0036	1,0123	0,9992	1,0595	Vietnã	0,9860	1,0225	1,0768	1,0173	1,1018
Holanda	1,0001	0,9923	1,0684	0,9747	1,0335	Zimbábue	0,9497	0,7806	0,8851	0,9975	0,8617
Honduras	0,9886	0,9939	1,0328	1,0104	1,0678						

Fonte: Resultados da pesquisa.

### CAPÍTULO 3

## DETERMINANTES DA ECOINOVAÇÃO NA INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO BRASILEIRA

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é analisar, por meio do método econométrico logit ordenado multinível e da Pesquisa de Inovação (PINTEC 2014), os determinantes da ecoinovação nas empresas brasileiras. Os resultados indicaram a importância das heterogeneidades setoriais na probabilidade das empresas ecoinovarem, além dos fatores individuais das firmas. Nesse sentido, sugere-se que o fortalecimento de ações de P&D, os investimentos públicos, a maior interação entre instituições de pesquisa e ensino com as empresas e instrumentos regulatórios específicos podem contribuir para se ter uma indústria de transformação mais aberta a práticas eficientes de gestão ambiental.

**Palavras-Chave:** Indústria de transformação; Ecoinovação; Logit ordenado multinível; Sustentabilidade, Tecnologia.

**Abstract:** The objective of this paper is to analyze the determinants of eco-innovation in Brazilian companies, using the multilevel ordered logit method and the Innovation Research (PINTEC 2014). The results indicated the importance of sectoral heterogeneities in the probability of eco-innovation, besides the individual firm's factors. In this sense, the strengthening of R&D actions, public investments, the greater interaction between research and teaching institutions with companies and specific regulatory instruments can contribute to having a manufacturing industry more open to efficient environmental management practices.

**Keywords:** Manufacturing industry; Eco-innovation; Multilevel ordered logit; Sustainability; Technology.

## 1. Introdução

Durante muitos anos, o setor industrial, um dos principais responsáveis pelas emissões dos diversos poluentes nocivos ao meio ambiente<sup>26</sup>, não se atentou para os custos ambientais de seus processos produtivos, nem aos seus desperdícios. Acreditava-se que produzir de maneira ecologicamente correta seria mais oneroso e prejudicaria o desempenho econômico-financeiro das empresas. Entretanto, a adoção de tecnologias possibilitou uma maior eficiência no uso dos recursos naturais e a substituição de insumos no processo produtivo (PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

Nesse sentido, as empresas são desafiadas a promover o desenvolvimento sustentável, através das inter-relações econômicas, sociais e ambientais, enfrentando importantes fatores, como concorrência, escassez de recursos, externalidades ambientais, entre outros. A inovação tornou-se, portanto, uma solução na busca de maior produtividade, competitividade e, conseqüentemente, lucratividade. Mas, além desses ganhos econômicos, havia a possibilidade de ganhos ambientais.<sup>27</sup>

A relação entre inovação e sustentabilidade fez com que se derivassem novos conceitos, como as terminologias inovação ambiental, inovação verde e inovação sustentável (HOJNIK e RUZZIER, 2016), que podem ser sintetizados no termo ecoinovação.

A ecoinovação pode ser definida como toda inovação que caracterize avanço importante no sentido do desenvolvimento sustentável, reduzindo o efeito do processo produtivo no ambiente; ou seja, todo tipo de ação inovativa que possa contribuir com o meio ambiente. Kemp e Pearson (2007) definem ecoinovação como a produção, exploração de um produto, processo, serviço, método de gestão ou negócio que é novo para a organização e que resulta, ao longo do seu ciclo de vida, em redução de impactos negativos ao meio ambiente em comparação com alternativas relevantes.

Especificamente para o Brasil, os resultados da Pesquisa de Inovação (PINTEC), em suas três últimas edições (2008, 2011 e 2014) identificaram que houve crescimento no número de empresas brasileiras que adotaram novas técnicas de gestão ambiental e inovaram com conseqüente redução nos impactos ambientais. Contudo, o crescimento dessas ecoinovações

---

<sup>26</sup> Ver Marcovitch (2006).

<sup>27</sup> Brundtland (1988) mostra que ao se considerar o desenvolvimento sustentável como tema importante, reconhece-se simultaneamente a importância da inovação no desenvolvimento de novos produtos e processos e, conseqüentemente, a utilização mais racional dos recursos naturais. Em conformidade com essa ideia, Porter e Van der Linde (1995) apresentaram que o uso adequado dos recursos produtivos (água, energia e matéria-prima) poderia garantir importante melhoria ambiental.

vem perdendo força ao longo dos anos, diante da considerável redução dos investimentos em tecnologias ambientais (IBGE, 2010; 2013; 2016).

Diante dessas informações, se faz necessário compreender os fatores que determinam o comportamento da indústria em relação à inovação ambiental, de forma a garantir um aparato informacional importante nas estratégias micro e macro do desenvolvimento sustentável. Nesse contexto, questiona-se se as especificidades setoriais e características das firmas influenciam na intensidade da adoção de ecoinovações pela indústria brasileira.

Os fatores que influenciam uma firma a ecoinnovar são, em geral, semelhantes aos que impactam as inovações tradicionais (SCHUMPETER, 1961), sendo provenientes de características tanto internas quanto externas à firma<sup>28</sup>. Existem, ainda, determinantes da ecoinovação que são inerentes ao setor em que a empresa opera (PAVITT, 1984).

A literatura empírica internacional<sup>29</sup>, apesar dos diferentes objetos de pesquisa, sugere que a ecoinovação tende a ser mais presente em empresas exportadoras, com maiores investimentos em gestão e Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) e que desempenham atividades com alto grau de concorrência. Outro fator também recorrente na análise refere-se à pressão de agentes internos e externos à empresa (acionistas e clientes, por exemplo), reforçando a importância da imagem corporativa quanto à sustentabilidade. Para o Brasil, os estudos que relacionam as características das firmas e a ecoinovação<sup>30</sup> apontaram que a intensidade de exportações, forças internas à empresa e a regulação ambiental são os principais fatores para a adoção da ecoinovação pela empresa. Adicionalmente, também consideram-se aspectos como: financiamento do governo, cooperação entre empresas, especificidades regionais, pressões da demanda e entidades socioambientais. Tais resultados também reforçam a existência de heterogeneidades tecnológicas nos diversos setores industriais.

Apesar da extensa literatura nacional e internacional na temática, propondo a compreensão dos fatores relacionados à inovação ambiental nas empresas, ainda cabe analisar como as características das empresas e dos setores contribuem para diferentes intensidades de inovação com ênfase no meio ambiente, além de explorar métodos de estimação ainda pouco difundidos na literatura correlata.

---

<sup>28</sup> As características podem apresentar dimensões tanto com enfoque neoclássico (RENNINGS, 2000) quanto evolucionário (DOSI, 1988).

<sup>29</sup> Brunnermeier e Cohen (2003), Scott (2003), Rogers (2004), Mazzanti e Zoboli (2006), Frondel, Horbach e Rennings (2007), Horbach (2008), Wagner (2008), De Marchi (2012) e Horbach, Rammer e Rennings (2012), entre outros estudos regionais.

<sup>30</sup> Ferraz e Seroa da Motta (2002), Seroa da Motta (2006), Albornoz et al. (2009), Diniz, Diniz e Oliveira Júnior (2010), Lucchesi et al. (2014), Hoff, Avellar e Andrade (2016) e Freire (2018), por exemplo.

Nesse sentido, este trabalho contribui para a literatura existente ao identificar a relação da inovação em processos produtivos como forma de garantir um desenvolvimento industrial sustentável, utilizando a estrutura econométrica do logit ordenado multinível, com dois níveis (empresa e setor) e quatro intensidades deecoinovação (alta, média, baixa e inexistente), um diferencial em relação à literatura conexa. Ademais, este trabalho traz contribuição ao debate sobre a ecoinovação nas indústrias brasileiras por incorporar a PINTEC 2014, base de dados recentemente disponibilizada.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar os determinantes da ecoinovação na atual estrutura industrial brasileira. Especificamente, pretende-se, através da metodologia logit ordenado multinível, verificar empiricamente, com dados da PINTEC 2014, os fatores individuais e setoriais que caracterizam as firmas brasileiras nos diferentes níveis de ecoinovação.

Além desta introdução, o artigo está estruturado em mais quatro seções: na seção 2 são apresentados aspectos teóricos e empíricos acerca da ecoinovação; em seguida, na seção 3, encontram-se o aparato econométrico utilizado na análise, assim como os dados e variáveis utilizados. Na seção 4, os resultados são apresentados e discutidos e, finalmente, na seção 5, o trabalho é concluído.

## **2. Aspectos teóricos e empíricos da ecoinovação**

### **2.1 A literatura teórica da ecoinovação e seus determinantes**

Os termos inovação e meio ambiente estão estreitamente relacionados. A inovação tornou-se fator essencial para o desenvolvimento de qualquer nação, e, neste contexto, o uso de tecnologias que permitem reduzir o impacto sobre o meio ambiente e proporcionem novas técnicas de produção e gestão ambiental são fundamentais. A mudança tecnológica com o objetivo de minimizar os efeitos negativos sobre o meio ambiente, depende, primeiramente, do comportamento das unidades produtivas e dos indivíduos. As firmas precisam desenvolver a capacidade de gerar e adotar inovações ambientais e os indivíduos necessitam agir obedecendo os princípios do desenvolvimento sustentável<sup>31</sup>.

O número de trabalhos que argumentam que a escala do sistema econômico e os padrões de consumo, decorrentes do estilo de crescimento atual, são insustentáveis do ponto de vista

---

<sup>31</sup> O nível governamental é importante também, pois afeta o individual e o sistema como um todo.

ecológico vem aumentando ao longo dos anos.<sup>32</sup> Dessa forma, o desenvolvimento tecnológico enquadra-se como elemento chave para solucionar problemas de ordem ambiental (SOLOW, 1974; 1986; GROSSMAN e KRUEGER, 1995; FRIEDMAN, 2006). Por sua vez, Porter e Van der Linde (1995) indicaram que as inovações, quando atreladas à questão ambiental, promovem ganhos tanto no aspecto ambiental quanto na competitividade; ou seja, a forma como uma empresa responde às questões ambientais seria fator determinante para a sua competitividade.<sup>33</sup>

É nesse contexto que se desenvolve o conceito de ecoinovação. Baseado, teoricamente, nas ideias de Schumpeter (1961)<sup>34</sup>, o termo relaciona-se a qualquer inovação que se traduza em um avanço importante no sentido do desenvolvimento sustentável, sendo, portanto, capaz de reduzir o impacto do processo produtivo no ambiente (FUSSLER e JAMES, 1996). Isso significa utilizar os recursos naturais de forma mais eficiente e responsável. Arundel, Kemp e Parto (2007), Kemp e Pearson (2008) e Oltra (2008) reforçam que os impactos positivos no meio ambiente não necessariamente são as finalidades das inovações, mas que o conceito de ecoinovação independe das motivações primais.

A literatura teórica expõe que as ecoinovações sofrem influência de fatores semelhantes aos que impactam as inovações tradicionais. Com o enfoque neoclássico, Rennings (2000), por exemplo, classificou os fatores impulsionadores da ecoinovações em três grupos: (i) fatores puxados pelo mercado - market pull (market share, a concorrência, a inserção em novos mercados, os custos do trabalho, a demanda, fluxo informacionais, etc.) (ii) fatores empurrados pela tecnologia - technology push (qualidade do produto, a eficiência produtiva, logística e armazenamento, capacidade tecnológica e a eficiência energética); e (iii) fatores empurrados pela regulação - regulatory push (legislação ambiental vigente, os padrões de segurança e saúde ocupacional e a expectativa de novas regulações), sendo que estes últimos possibilitam a ocorrência dos dois primeiros.

---

<sup>32</sup> Os estudos de Daily (1997), Daily et al. (2000), Costanza et al. (1997; 1998), Hueting et al. (1998), De Groot, Wilson e Boumans (2002), Limburg e Folke (1999), Farber, Costanza e Wilson (2002), Patterson (2002), Sukhdev (2008), dentre outros podem ser citados como exemplos.

<sup>33</sup> Porter e Van der Linde (1995) afirmaram que as regulações e políticas ambientais podem beneficiar não só o meio ambiente, mas também as indústrias reguladas; ou seja, uma regulamentação ambiental pode estimular as empresas a buscarem inovações que minimizem o impacto ambiental e propiciem a minimização de custos e ganhos de produtividade e competitividade. Dessa forma, a sociedade se beneficiaria da redução do impacto ambiental (poluição), e as empresas poderiam ampliar sua lucratividade. Contudo, os autores relatam que, devido à assimetria informacional e problemas de coordenação, as empresas não são capazes de detectar o potencial das ecoinovações per se.

<sup>34</sup> Este autor considerava que a inovação era condição necessária para o desenvolvimento econômico, proporcionando a dinâmica necessária às atividades produtivas. Inicialmente, as firmas produziam novos produtos ou os mesmos produtos com processos diferentes; ao ser copiado ou imitado pelos concorrentes, o empresário buscava promover outras inovações, gerando novas ideias, novos processos e mais inovação. Essa busca pela criação contínua e cíclica foi denominada “destruição criadora” (SCHUMPETER, 1961).

A tecnologia, seja ambiental ou não, pode ser classificada de acordo com o tipo de mudanças a que ela se refere, variando entre pequenas mudanças (inovações incrementais) e mudanças sistêmicas (inovações radicais e mudança de paradigma tecnológico); e de tecnologias que podem ser alteradas no curto prazo ou apenas no longo prazo (DOSI, 1988; CASSIOLATO e LASTRES, 2005). Novas técnicas geram novos produtos, processos ou novos modos de organização da firma e produz um estilo dinâmico à economia. Novos paradigmas tecnológicos nascem e podem estar baseados na utilização menos intensiva de energia, água e matérias-primas, por exemplo. Cabe mencionar que a ecoinovação nem sempre gera mudança de paradigma tecnológico, pois uma inovação com redução de impacto ambiental pode ser advinda de uma inovação incremental, ou seja, alterar um produto ou processo já existente para o enfoque ambiental. No caso de a inovação ser radical, o produto e/ou processo é totalmente novo, rompendo o paradigma vigente e estabelecendo um novo.

A dinâmica entre todos os fatores forma uma complexa estrutura sistêmica entre o ambiente econômico e a direção da mudança tecnológica. A teoria evolucionária, objetivada por Dosi (1982), se estabeleceu propondo incorporar às interações as especificidades setoriais e das firmas. Esse enfoque evolucionário da firma vem destacando-se a partir de trabalhos pioneiros, como os de Nelson e Winter (1977), Dosi (1984) e Pavitt (1984).<sup>35</sup>

Pavitt (1984), ao incorporar à corrente evolucionista os conceitos da organização industrial, realizou o estudo da estrutura setorial (taxonomias setoriais) nos processos inovativos industriais. Segundo o autor, as semelhanças presentes nos processos produtivos das firmas resultam em trajetórias tecnológicas também similares, permitindo o agrupamento das indústrias em categorias setoriais. Dessa forma, ao definir os padrões setoriais de inovação, é possível identificar condutas que aproximam firmas de um mesmo setor e que diferenciam um setor dos demais, permitindo a compreensão dos fatores relacionados à inovação e, similarmente, à ecoinovação (PAVITT, 1984; MALERBA, 1992; DOSI e MARENGO, 1994). As diferentes especificidades das condições setoriais desempenham um papel decisivo na intensidade da adoção de ecoinovações pela empresa.

Considerando as exposições realizadas, deve-se ainda acrescentar importantes características que fazem a teoria evolucionária<sup>36</sup> adequada para analisar, além de inovações

---

<sup>35</sup> Em paralelo ao conceito de ecoinovação tem-se o fortalecimento da ideia de logística reversa e análise do ciclo de vida dos produtos (LEITE, 2009; BRITO e AGUIAR, 2014), que são essenciais para garantir a sustentabilidade das empresas em função das novas exigências do mercado.

<sup>36</sup> Na abordagem de Nelson e Winter (1977; 1982), a economia evolucionária trata a mudança técnica utilizando e adaptando conceitos da biologia. Contribuições teóricas dos neoschumpeterianos, dentre eles Freeman (1974; 1984), foram adicionadas e o progresso técnico passa a ser considerado um indicador fundamental no processo de desenvolvimento da firma e do mercado.

convencionais, as ecoinovações, a saber: (i) a perspectiva histórica dos danos ambientais; (ii) a perspectiva dinâmica evolutiva das mudanças na tecnologia; (iii) a interdependência temporal (path-dependent) da ecoinovação; (iv) a cumulatividade do dano ao meio ambiente; (v) a irreversibilidade da degradação; e (vi) a incerteza do resultado da mudança tecnológica (DOSI, 1988; KEMP e SOETE, 1992; FREEMAN, 1995).

Nessa perspectiva, a capacidade de a firma inovar está relacionada com o aprendizado acumulado adquirido por meio da pesquisa e desenvolvimento, do “aprender fazendo” (learning-by-doing) (ARROW, 1962), do “aprender usando” (learning-by-using) (ROSENBERG, 1982) e do “aprender interagindo” (learning-by-interacting) (LUNDVALL, 1992). O tipo e a intensidade da inovação são adquiridos por meio do acúmulo das três competências e os ativos tecnológicos, proporcionando a evolução das trajetórias da firma. As trajetórias são modificadas quando a firma acumula competências e aprimora sua capacidade inovativa (NELSON e WINTER, 1982). A consequência disso é que a firma pode inovar de forma contínua e evoluir no tempo. Especificamente no caso de questões ambientais, é adicionada às questões supracitadas, as externalidades negativas que podem assumir diferentes dimensões (KEMP e SOETE, 1992; LUSTOSA, 2002).

## 2.2 A literatura empírica da ecoinovação e seus determinantes

A temática sobre a dinâmica inovativa, incluindo a ecoinovação, é abordada na literatura econômica por três linhas de investigação distintas: a primeira define a mudança técnica como exógena à ciência econômica; a segunda insere a inovação como resultado da estrutura de mercado; e a terceira, em que se enquadra a teoria evolucionária, confere uma lógica particular para o processo inovativo sem descartar a importância dos fatores econômicos (CAMPOS e RUIZ, 2009).

Apesar da presença de particularidades em cada uma das linhas investigativas, as três teorias convergem sobre a importância das características setoriais e individuais das firmas para compreender a dinâmica ecoinovativa, já que tais características direcionariam as oportunidades tecnológicas percebidas por empresas e setores. A capacidade tecnológica, individual e setorial, seria, portanto, capaz de promover mudanças estruturais que resultariam na ampliação ou redução das heterogeneidades setoriais (AVELLAR, BRITTO e STALLIVIERI, 2012).

Nas últimas duas décadas, muitos estudos empíricos se concentraram em identificar quais foram as características e os determinantes das ecoinovações, sendo, mais recentemente,

incorporado às análises o enfoque evolucionário das inovações, aumentando o escopo e a profundidade das pesquisas (BERNAUER et al., 2007; DE MARCHI, 2012). Dessa forma, os seguintes fatores organizacionais, institucionais e econômicos começaram a ser agregados nos estudos: fluxos de informações e conhecimento, capacitações tecnológicas e de absorção interna, características setoriais, comportamento inovador das firmas, as condições de mercado (technology push e demand pull), entre outros (VEUGELERS, 2012).

A literatura internacional sobre os determinantes da ecoinovação, apesar de ainda em construção, engloba diversas metodologias, indicadores e resultados, tornando a investigação ainda mais contemporânea e relevante. Os trabalhos de Jaffe e Palmer (1997) – pioneiro na análise dos determinantes da ecoinovação – e Brunnermeier e Cohen (2003) procuraram estabelecer a relação entre as políticas de regulação e a adoção de inovações nas indústrias americanas, baseando-se na hipótese formulada por Porter e Van der Linde (1995). Ambos os trabalhos mostraram que a redução dos custos globais das firmas está associada a um aumento nos investimentos em P&D e que não houve uma relação significativa entre as regulações e a ecoinovação. A partir desses estudos, diversos trabalhos foram sendo traçados, como pode ser exemplificado pelo Quadro 1, que apresenta parte da literatura internacional sobre a temática.

A revisão da literatura<sup>37</sup> permite constatar, ainda, que os estudos sobre os países de renda média e em desenvolvimento ainda são escassos e, embora a identificação dos determinantes da ecoinovação nas empresas seja um tópico difundido na literatura, muitas questões sobre tais fatores nesses países permanecem sem a devida análise (DEL RÍO, PEÑASCO e ROMERO-JORDÁN, 2016).

---

<sup>37</sup> Revisões ampliadas sobre a literatura dos determinantes da ecoinovação podem ser encontradas em Barbieri et al. (2016), Del Río, Peñasco e Romero-Jordán (2016), Hojnik e Ruzzier (2016), Pacheco et al. (2017), Xavier et al. (2017) e Salim, Rahman e Wahab (2019).

Quadro 1: Revisão da literatura internacional sobre os determinantes da ecoinovação

<b>Trabalhos</b>	<b>Objeto de estudo</b>	<b>Principais determinantes da ecoinovação (resultados)</b>
Berrone et al. (2013)	Estados Unidos	Pressões institucionais
Mazzanti e Zoboli (2006); Antonioli e Mazzanti (2009); Cainelli, Mazzanti e Montresor (2012)	Itália	Investimentos em P&D, gestão de custos e cooperação entre firmas
Frondel, Horbach e Rennings (2007); Rehfeld, Rennings e Ziegler (2007); Horbach (2008); Kammerer (2009); Rexhäuser e Rammer (2011); Horbach, Rammer e Rennings (2012); Horbach (2014a)	Alemanha	Investimentos em P&D e em capacitação tecnológica das firmas, parcerias com instituições e outras empresas. As políticas governamentais podem impactar significativamente apenas em algumas atividades setoriais
Demirel e Kesidou (2011)	Reino Unido	Preocupação ambiental, instrumentos de regulamentação e pressão social
Nadel (2012)	França	Tamanho da empresa (médio e grande portes) e preocupação com a imagem da marca
Cole, Elliot e Shimamoto (2006)	Japão	Investimento direto estrangeiro, as empresas que exportam, intensidade de capital físico e tamanho da empresa
De Marchi (2012); Del Rio, Romero-Jordán e Peñasco (2015); Llopis e Blasco (2018)	Espanha	Parcerias externas, tamanho e o tempo de existência da firma
Veugelers (2012)	Bélgica	Fatores relacionados ao demand pull e políticas de incentivo a tecnologias verdes
Wagner (2008)	9 países europeus	Tamanho da empresa não tem nenhum efeito sobre a probabilidade de ecoinnovar
Triguero, Moreno-Mondéjar e Davia (2013)	27 países europeus	Incentivos econômicos
Horbach (2014b)	Europa Oriental	Subsídios relacionados ao meio ambiente
Ghissetti, Marzucchi e Montresor (2015)	11 países europeus	Fontes externas de conhecimento (institutos de pesquisa, agências, universidades, clientes e fornecedores) na geração de ecoinovações
Testa e Iraldo (2010)	Países da OCDE	Técnicas avançadas de gestão administrativa e operacional
Cai e Zhou (2014); Li (2014); Cai e Li (2018)	China	Redes externas de cooperação e conhecimento
Lin et al. (2014)	China	Capital político (relação negativa)

Fonte: Elaboração própria.

Na mesma direção da literatura internacional sobre ecoinovações, as pesquisas para a economia brasileira também vêm evidenciando e identificando as características e determinantes do processo de ecoinovação das firmas nacionais.

Diniz, Diniz e Oliveira Júnior (2010), ao analisarem as inovações ambientais no Polo Industrial de Manaus, mostraram que os fatores que mais influenciam a adoção de processos mais limpos são: tamanho da empresa, natureza do capital, grau de exportação, pressão da comunidade, redução de custos e subsídios. Marta et al. (2011) concluíram que os principais determinantes do investimento em redução da poluição foram o tamanho e a produtividade das empresas, ambos com relação positiva, e a idade da empresa com relação negativa. Já Oliveira, Carvalho e Dutra (2012), ao analisarem dados da indústria de serviços no período de 2009-2011, identificaram que a maioria das empresas utiliza recursos próprios como a principal fonte financiadora da atividade inovativa e reforçaram a necessidade de fontes de financiamento e subvenção governamentais para estimular a ocorrência de ecoinovações no contexto das empresas brasileiras.

Lucchesi et al. (2014) também contribuíram para a análise dos determinantes da ecoinovação na indústria de transformação brasileira, ao verificar o papel da regulação ambiental na adoção de ecoinovações e confirmar que as empresas de capital estrangeiro e que exportam têm maior probabilidade de adotar ecoinovações. Já o trabalho de Hoff, Avellar e Andrade (2015) mostrou que o número de firmas ecoinovadoras representa um terço do total das empresas que inovam, e que os fatores internos e externos às empresas, tais como a dinâmica do processo produtivo e as leis ambientais e regulações, respectivamente, podem explicar a heterogeneidade entre os diferentes setores da atividade econômica. Por fim, Freire (2018) e Rabêlo e Melo (2018) evidenciaram a importância de parcerias para o desenvolvimento de condições e estímulos para a implementação de ecoinovações nos níveis corporativo e setorial.<sup>38</sup>

Dessa forma, compreender os fatores que determinam o comportamento das empresas e dos setores industriais em relação às questões ambientais garante um aparato informacional importante nas estratégias setoriais e nacionais de desenvolvimento sustentável. A literatura internacional, apesar dos diferentes objetos de pesquisa, sugere que a ecoinovação tende a ser mais presente em empresas exportadoras, com maiores investimentos em gestão e P&D e que desempenham atividades com alto grau de concorrência. Outro fator também recorrente na

---

<sup>38</sup> Outros estudos que relacionam as estratégias inovativas das firmas brasileiras e as questões ambientais são Alperstedt, Quintella e Souza (2010), Carvalho, Savaget e Arruda (2013), Queiroz e Podcameni (2014), Severo et al. (2015), Pinsky e Kruglianskas (2017).

análise refere-se à pressão de agentes internos e externos à empresa (acionistas e clientes, por exemplo), reforçando a importância da imagem corporativa quanto à sustentabilidade. Para o Brasil, os estudos que relacionam as características das firmas e aecoinovação apontaram que a intensidade de exportações, forças internas à empresa e a regulação ambiental são os principais fatores para a adoção da ecoinovação pela empresa. Outros fatores também considerados são: financiamento do governo, cooperação entre empresas, especificidades regionais, pressões da demanda e entidades socioambientais. Tais resultados reforçam a existência de heterogeneidades tecnológicas nos diversos setores industriais.

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, a literatura revisada contribui para a seleção das variáveis explicativas usadas no modelo econométrico de ecoinovação nas indústrias brasileiras. Assim, pode-se obter uma melhor compreensão do fenômeno e, desta forma, contribuir para o fornecimento de dados e evidências que possam propiciar a formulação de políticas de incentivo à adoção destas inovações.

### **3. Metodologia**

Os modelos lineares generalizados multinível (GLLMM) estão, progressivamente, ganhando destaque nas diversas áreas de conhecimento, com especial notoriedade no campo das ciências sociais aplicadas. A conquista de espaço no meio científico deve-se ao fato dos modelos multinível, ao contrário dos modelos tradicionais de regressão, considerarem a estrutura naturalmente aninhada de dados, viabilizando a identificação e análise das heterogeneidades individuais e entre grupos em que estes indivíduos estão inseridos (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Os GLLMM compreendem os modelos hierárquicos lineares (HLM) e os não lineares (HNM). Embora ambos apresentem uma estrutura em níveis, enquanto o HLM apresenta a variável dependente de forma contínua, o HNM expressa a variável resposta de maneira categórica (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Dessa forma, o modelo hierárquico não linear se define como o método efetivo para os objetivos desta pesquisa. Primeiramente, porque a definição dos setores como um segundo nível permite incorporar explicitamente no estudo duas questões: (i) a característica estratificada natural dos dados; (ii) a validade da análise dos efeitos fixos e dos efeitos aleatórios para a temática da dinâmica inovativa.

Especificamente, a questão (i) refere-se ao fato da base de dados, aqui utilizada, estratificar as empresas de acordo com as 24 atividades econômicas; ou seja, a disposição dos

dados já apresenta empresas conglomeradas em um nível superior, favorecendo a utilização do HNM. Ademais, mais do que a incorporação da característica natural dos dados, a utilização do modelo hierárquico não linear, com os setores em segundo nível, busca, como explicitado em (ii), validar a influência não homogênea das atividades econômicas sobre a disposição das empresas ecoinovarem.<sup>39</sup>

Dessa forma, a utilização de uma estrutura multinível visa contribuir com a literatura sobre a dinâmica inovativa ao considerar que os setores são heterogêneos e, portanto, capazes de influenciar a variação dos determinantes da ecoinovação. A relevância do presente estudo é potencializada ao valer-se adicionalmente da regressão logística ordenada, implicando na utilização de um modelo HNM complexo, denominado multilevel mixed-effects ordered logistic regression.

A regressão logística ordenada faz uso da variável dependente categórica ordinal, resultando em modelos que possuem menos parâmetros e de maior facilidade de interpretação<sup>40</sup>. Há diferentes formas de definir as categorias e caracterizar o que significa “sucesso” ou ocorrência do evento de interesse: o modelo de probabilidade proporcional - PO (ou cumulativo), o modelo de taxa de continuação (CR) e o modelo de categorias adjacentes (AC) (O’CONNELL, 2010). Cada um desses modelos deve ser utilizado conforme a necessidade do problema de pesquisa.

Nesse sentido, quando se deseja acrescentar aos dados ordinais um modelo multinível, a literatura e os próprios softwares convergem para o modelo de probabilidade proporcional ou logit cumulativo. Basicamente, o modelo PO distingue as categorias com base nos cutpoints (pontos de corte), de maneira que o sucesso pode ser definido como estando em categorias no ou abaixo do m-ésimo ponto de corte (opção ascendente) ou, alternativamente, como estando em categorias maiores ou iguais ao ponto de corte (opção descendente) (O’CONNELL, 2010).

Formalizando de acordo com Raudenbush e Bryk (2002), o modelo ordenado multinível é representando pelo conjunto das equações (01) e (02):

---

<sup>39</sup> A literatura sobre a temática, já amplamente debatida, apresenta Pavitt (1984) como difusor da importância da estrutura setorial (taxonomias setoriais) nos processos inovativos. Segundo o autor, as semelhanças presentes nos processos produtivos das firmas resultam em trajetórias tecnológicas também similares, permitindo o agrupamento das indústrias em categorias setoriais.

<sup>40</sup> Quando uma variável categórica tem mais de duas categorias, distingue-se dois tipos de escalas. Dessa forma, além das variáveis ordinais, há as variáveis categóricas com escalas não ordenadas, chamadas de variáveis nominais, que resultam em modelos com mais parâmetros estimados e de interpretação mais difícil (RAUDENBUSH e BRYK, 2002).

$$\text{Nível 1:} \quad \eta_{mij} = \ln(Y_{mij}) = \beta_{0j} + \sum_{q=1}^Q \beta_{qj} X_{qij} + \sum_{m=2}^{M-1} D_{mij} \delta_m \quad (01)$$

$$\text{Nível 2:} \quad \beta_{qj} = \gamma_{q0} + \sum_{s=1}^{S_q} \gamma_{qs} W_{sj} + u_{qj} \quad (02)$$

em que  $\eta_{mij}$  é o logit predito da  $m$ -ésima comparação cumulativa para a empresa  $i$  no setor  $j$ ;  $m$  designa as possibilidades de categorias ordenadas ( $m = 1, \dots, M$ ), sendo  $D_{mij}$  o indicador das  $m$  categorias e seu respectivo limiar  $\delta_m$ ;  $\beta_{0j}$  é o intercepto geral, que segundo o Stata (2015) tem seu efeito absorvido pelos cutpoints;  $\beta_{qj}$  é a inclinação explicitada pela equação (02), que engloba: (i) mudança na inclinação em razão de  $X(\gamma_{q0})$ , representando a alteração na variável dependente para observação  $i$  pertencente a determinado grupo  $j$ , quando houver uma alteração unitária na característica  $X$ ; (ii) mudança na inclinação em razão de  $W \cdot X(\gamma_{qs})$ , refere-se à alteração na variável dependente para observação  $i$  pertencente a determinado grupo  $j$ , quando houver uma alteração unitária no produto  $W \cdot X$ ; (iii)  $u_{qj}$  são os efeitos aleatórios na inclinação. A suposição de probabilidades proporcionais mantém que, em todas as divisões cumulativas  $M - 1$ , essas inclinações sejam constantes, embora variem intragrupo (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

De modo a adequar as equações (01) e (02) à dinâmicaecoinovativa deste trabalho, tem-se que  $i$  refere-se às 6.656 empresas brasileiras analisadas, que podem ser agrupadas em  $j = 24$  setores industriais. As definições e descrições das variáveis dependente e explicativas do modelo ordenado multinível são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2: Descrição das variáveis do modelo

Variáveis	Variável no modelo	Variável na PINTEC <sup>a</sup>	Descrição da variável
Dependente (Categoria 1)	EcoInovação inexistente (eco=1)	Combinação das questões 105 e 189	eco = 1 se Baixa/Não ou Inexistente/Sim ou Inexistente/Não
Dependente (Categoria 2)	EcoInovação baixa (eco=2)	Combinação das questões 105 e 189	eco = 2 se Média/Não ou Baixa/Sim
Dependente (Categoria 3)	EcoInovação média (eco=3)	Combinação das questões 105 e 189	eco = 3 se Alta/Não ou Média/Sim
Dependente (Categoria 4)	EcoInovação alta (eco=4)	Combinação das questões 105 e 189	eco = 4 se Alta/Sim
Explicativas Nível 1	Intensidade da exportação (intexp)	Ponderação das questões 89 a 92	$intexp = 0,2*Questão\ 89 + 0,3*Questão\ 90 + 0,4*Questão\ 91 + 0,1*Questão\ 92$
	Apoio do governo (gov)	Baseada nas questões 156 a 162	gov = 1 se pelo menos uma das respostas for SIM; gov = 0 caso contrário
	Capacitação tecnológica (captec)	-	Número de empregados de nível superior/número total de empregados (RAIS <sup>b</sup> )
	Intensidade de P&D (intpd)	Combinação das questões 9, 31 e 32	Investimentos em P&D (questões 31 e 32) / Receita Líquida com Vendas (Questão 9)
	Intensidade de estrutura inovativa (intinov)	Combinação das questões 9 e 33 a 37	Investimentos em atividades inovativas, exclusive P&D (questões 33 a 37) / Receita Líquida com Vendas (Questão 9)
	Fonte de informação interna (interna)	Baseada nas questões 108 e 109	interna = 1 se, pelo menos, uma resposta das questões 108 e 109 for “Alta” interna = 0 caso contrário
	Fonte de informação externa (externa)	Baseada nas questões 110 e 121	externa = 1 se, pelo menos, uma resposta das questões 110 a 121 for “Alta” externa = 0 caso contrário
	Dummies regionais (sul, no, ne, co)	Baseada na questão 03 do questionário de identificação da empresa	sul = 1 se Região Sul; sul = 0 caso contrário no = 1 se Região Norte; no = 0 caso contrário ne = 1 se Região Nordeste; ne = 0 caso contrário co = 1 se Região Centro-Oeste; co = 0 caso contrário (base: Região Sudeste)
	Pessoal ocupado (pessoal)	Questão 8	Número de trabalhadores no final do período base
	Capital estrangeiro (capital)	Baseada na questão 1	capital = 1 se a origem do capital controlador da empresa é estrangeiro ou misto capital = 0 caso contrário
Produtividade (prod)	Combinação das questões 8 e 9	Receita Líquida de Vendas (Questão 9) / Pessoal Ocupado (Questão 8)	

Explicativas Nível 2	Intensidade tecnológica setorial (pdset)	Combinação das questões 9 e 31 a 37	Somatório dos gastos das empresas com P&D e inovação do setor CNAE a 2 dígitos dividido pelo somatório da RLV do mesmo setor
	Intensidade de exportação setorial (expset)	Ponderação das questões 89 a 92 e questão 8	$\frac{Expset}{pessoal_j} = 0,2 * \frac{\sum_i^i (Questão89_i * pessoal_i)}{pessoal_j} + 0,3$ $* \frac{\sum_i^i (Questão90_i * pessoal_i)}{pessoal_j} + 0,4$ $* \frac{\sum_i^i (Questão91_i * pessoal_i)}{pessoal_j} + 0,1$ $* \frac{\sum_i^i (Questão92_i * pessoal_i)}{pessoal_j}$ em que $pessoal_j$ é o pessoal total ocupado no setor j
	Concentração setorial (concentra)	Baseada na questão 9	Índice de Herfindahl-Hirschmann por CNAE a 2 dígitos, em que: $HHI_j = \sum \left( \frac{RLV_i}{RLV_j} \right)^2$ , onde i é empresa e j o setor.
	Diferenciação de produto (difprod)	Combinação das questões 10, 11 e 15	Número de empresas no setor que realizaram inovação de produto dividido pelo número de empresas no setor que realizaram inovação de produto e/ou processo.

<sup>a</sup> O questionário da Pesquisa de Inovação (PINTEC 2014), com a descrição das questões, encontra-se no Anexo A

<sup>b</sup> Relação Anual de Informações Sociais (MTE 2014)

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 2 evidencia que a variável explicada é dividida em quatro categorias ( $m = 4$ ) para indicar a relevância da ecoinovação. Já o vetor de variáveis explicativas do nível de empresa ( $X$ ) é formado por 14 variáveis preditoras, implicando  $Q$  de mesmo valor. Por fim, o vetor de variáveis independentes do nível de setor ( $W$ ) é composto por quatro variáveis, resultando em  $S = 4$ .

No que concerne as variáveis explicativas, espera-se que, Fonte de informação externa (externa), Pessoal ocupado (pessoal), Intensidade tecnológica setorial (pdset) e Concentração setorial (concentra) apresentem um coeficiente estimado com sinal positivo, dadas as discussões apresentadas por Pavitt (1984), Schumpeter (1961), Ferraz e Seroa da Motta (2002), Cole, Elliot e Shimamoto (2006), Mazzanti e Zoboli (2006), Horbach (2007; 2008; 2014a), Avellar et al. (2010), De Marchi (2012), Horbach et al. (2012), Nadel (2012), Lucchesi et al. (2014) e Del Rio, Romero-Jordán e Peñasco (2015).

Já para as demais variáveis não é possível estabelecer um sinal esperado, já que a literatura não é consensual sobre a relação entre Intensidade da exportação (intexp), Apoio do governo (gov), Capacitação tecnológica (captec), Intensidade de P&D (intpd), Intensidade de estrutura inovativa (intinov) e Capital estrangeiro (capital) com a relevância da ecoinovação (FERRAZ e SEROA DA MOTTA, 2002; COLE, ELLIOT e SHIMAMOTO, 2006; MAZZANTI e ZOBOLI, 2006; FRONDEL, HORBACH e RENNINGS, 2007; HORBACH,

2007; 2008; 2014a; 2014b; DE MARCHI, 2012; HORBACH et al., 2012; VEUGELERS, 2012; LUCCHESI et al., 2014; DEL RIO, ROMERO-JORDÁN e PEÑASCO, 2015; e HOFF, AVELLAR e ANDRADE, 2015).

Por outro lado, espera-se, com base na teoria apresentada, especialmente apoiada na taxonomia de Pavitt (1984), que o segundo nível se mostre significativo, de forma que seja possível captar os efeitos fixo e aleatório do modelo estrutural para a análise da dinâmicaecoinovativa. Especificamente, verificar-se-á o resultado da correlação intraclasse (ICC) dada pela expressão (03):

$$ICC = \frac{Var(u_{qj})}{Var(u_{qj}) + 3,29} \quad (03)$$

O ICC mede a proporção da variância total devido ao primeiro e segundo nível. Especificamente,  $Var(u_{qj})$  representa a variância a nível de setor, sendo gerada a partir da estimação do modelo. O valor de 3,29 é a variância do erro referente ao nível de empresa, tendo como base os trabalhos de Grilli e Rampichini (2007), O'Connell (2010) e Ene et al. (2015).<sup>41</sup>

O ICC pode assumir valor de 0 a 1. No caso em que é igual a zero, não ocorre variância das empresas entre os setores, ou seja, a relevância da ecoinovação independe de qual setor a empresa pertence. Nessa situação, deve-se recorrer a procedimentos tradicionais de estimação. De maneira antagônica, se o valor for 1, toda a variabilidade existente na ecoinovação irá depender do segmento da empresa (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Buscando obter maior robustez à estrutura do modelo, realizar-se-á o teste da razão de verossimilhança (LR test), testando assim se a estrutura do modelo ordenado multinível ajusta-se de forma mais adequada aos dados do que o puro modelo logístico ordenado.

Ressalta-se, por fim, que de modo a facilitar a interpretação dos determinantes, a análise das variáveis será realizada valendo-se da razão de chances, expressa pela seguinte equação:

$$\pi_{mij} = \frac{\exp(\eta_{mij})}{1 + \exp(\eta_{mij})} = \frac{odds_{(mij)}}{1 + odds_{(mij)}} \quad (04)$$

---

<sup>41</sup> Quando o modelo logístico é aplicado, diferentemente dos modelos multiníveis que apresentam a variável dependente contínua, não se obtém a variância do primeiro nível. Dessa forma, para o cálculo do ICC, presume-se que os resíduos do primeiro nível sigam a distribuição logística padrão, apresentando, portanto, média 0 e variância de  $\pi^2/3 = 3,29$  (GRILLI e RAMPICHINI, 2007; O'CONNELL, 2010; ENE et al., 2015).

### 3.1 Base de dados

A base de dados utilizada na presente análise é composta pela Pesquisa de Inovação (PINTEC) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho e Emprego, ambas de 2014.

A PINTEC, que teve sua primeira edição publicada em 2000, visa fornecer informações trienais relacionadas às atividades de inovação das empresas brasileiras com dez ou mais pessoas ocupadas, tendo como universo de investigação as atividades das indústrias extrativas e de transformação, setores de eletricidade e gás e de serviços selecionados (IBGE, 2016). A PINTEC fornece informações sobre o esforço empreendido para inovação de produtos e processos; identificação do impacto das inovações no desempenho e competitividade das empresas; fontes de informação e relações de cooperação estabelecidas com outras organizações; apoio do governo para as atividades inovativas; identificação dos problemas e obstáculos para a implementação de inovação; inovação organizacional e de marketing, entre outros aspectos (IBGE, 2016).

Neste trabalho utilizou-se o universo das indústrias de transformação brasileiras compreendidas na PINTEC 2014, que tem como referência o período 2012-2014.

A construção das variáveis e as estimações econométricas foram realizadas através do software estatístico Stata 14. Diante da confidencialidade dos microdados utilizados neste trabalho, todos os procedimentos de análise e estimação foram realizados em Sala de Acesso a Dados Restritos (SAR) do IBGE.

## **4. Resultados e discussão**

### 4.1 Caracterização das empresas analisadas

A fim de conhecer melhor o objeto de estudo deste trabalho, a Tabela 1 permite caracterizar a amostra composta por 6.656 empresas pertencentes aos 24 setores elencados na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) do IBGE.

Tabela 1: Médias das variáveis utilizadas no modelo econométrico

Variável	Medida	Total	EcoInovação			
			Não	Baixa	Média	Alta
intexp	%	2,49	2,11	3,27	3,08	3,38
gov	%	43,05	40,03	45,42	46,35	53,91
captec	%	20,67	23,71	19,09	17,36	16,38
intpd	%	2,88	2,65	2,38	3,86	3,02
intinov	%	7,58	4,27	4,72	19,08	9,52
interna	%	49,84	46,62	47,73	53,90	60,06
externa	%	81,82	77,87	76,71	87,07	91,87
sudeste	%	51,26	53,45	51,63	46,26	47,43
sul	%	29,99	29,80	31,40	33,00	28,25
ne	%	9,90	8,73	10,33	10,33	12,59
no	%	3,67	3,14	3,37	4,28	4,96
co	%	5,18	4,88	3,27	6,13	6,74
pessoal	média/empresa	507,10	346,90	718,50	606,80	856,40
capital	%	13,60	12,55	17,18	14,44	14,57
prod	R\$mil/trab.	306,60	265,80	303,60	352,20	357,90
pdset	%	3,61	3,78	3,39	3,28	3,53
expset	%	2,96	2,95	3,02	2,97	2,95
concentra	%	5,16	5,35	4,29	4,73	5,55
difprod	%	64,24	65,05	65,02	63,41	62,77
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100,00</b>	<b>52,69</b>	<b>14,26</b>	<b>17,89</b>	<b>15,16</b>

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2014).

A produtividade média das empresas, importante fator para o crescimento econômico nacional, em 2014, foi de R\$ 306,6 mil por trabalhador. Mation (2014) ressalta que, independentemente da metodologia utilizada para o cálculo da produtividade, é consenso que houve melhora nos índices de produtividade nos últimos anos, mas o crescimento econômico no Brasil continua a ser orientado pela acumulação de fatores de produção em detrimento ao crescimento da produtividade.

Complementarmente, se faz plausível estabelecer uma relação entre produtividade e empresas que ecoinovam, já que firmas com alta relevância em ecoinovação apresentam, em média, uma produtividade 16,73% maior do que as empresas que não ecoinovam. Tal relação é verificada estatisticamente pelo modelo econométrico.

Assim como a produtividade, a variável referente ao apoio do governo demonstra certa relação com a ecoinovação. Atuando em aproximadamente 43% das firmas, a ação governamental está 34,67% mais presente em empresas com alta relevância em inovações ambientais comparativamente ao outro extremo, sinalizando que o Estado busca incentivar a ecoinovação.

O possível incentivo governamental àecoinovação pode estar ocorrendo por meio de duas abordagens ou a combinação entre: *technology-push*<sup>42</sup> e *demand-pull*<sup>43</sup>. No primeiro caso, o governo age reduzindo o custo privado do desenvolvimento dos projetos; enquanto pela segunda abordagem, o apoio do governo eleva o lucro da empresa com o sucesso da inovação (PINSKY e KRUGLIANSKAS, 2017).

Destaca-se, ainda, as variáveis que representam as regiões brasileiras. A concentração da atividade econômica na Região Sudeste é confirmada pelos dados ao demonstrarem que aproximadamente 51,3% das empresas analisadas encontram-se nessa região. Quando analisa-se a ecoinovação, o Sudeste continua a apresentar o maior percentual de firmas, contudo há uma redistribuição, indicando que empresas que inovam não necessariamente o fazem preocupando-se com o impacto ambiental.

A comparação entre inovação e ecoinovação pode ser ampliada para o nível de setor. Como pode ser observado na Tabela 2, o setor de alimentos é o mais inovativo, no sentido de agregar cerca de 14,74% das empresas inovadoras. Em contraponto, os setores de fumo, coque e refino, outros equipamentos de transporte e produtos farmoquímicos e farmacêuticos apresentam baixo número de empresas que inovam, fazendo com que cada setor englobe menos do que 1% do total de empresas analisadas.

Quando se busca desagregar a análise por impacto causado percebe-se que, na média, cerca de 60% das empresas que implementaram inovações apresentaram uma baixa ou não relevante redução do impacto ambiental. Já quanto às inovações organizacionais, apenas 39% adotaram técnicas de gestão ambiental.

O setor de alimentos, que figura como destaque positivo na questão de inovação, também se destaca quando o parâmetro é a ecoinovação, contudo, agora de maneira negativa. Isso porque, conjuntamente aos setores de fumo, vestuário e acessórios, celulose e papel, produtos de metal e manutenção de máquinas, o setor de alimentos integra o grupo em que há o maior percentual de empresas que não convertem as inovações em relevante redução do impacto ambiental. No outro extremo, em se tratando de ecoinovação, pode-se destacar os setores de bebidas, de produtos de madeira, impressão e gravações, minerais não-metálicos e

---

<sup>42</sup> Exemplos de *technology-push* são: subsídios a iniciativas de Pesquisa e Desenvolvimento, aumento da capacidade de transferência de conhecimento, apoio a iniciativas de educação e capacitação, e o financiamento de projetos de demonstração (PINSKY e KRUGLIANSKAS, 2017).

<sup>43</sup> Exemplos de *demand-pull* são: propriedade intelectual, créditos fiscais e descontos para consumidores de novas tecnologias, compras governamentais, mandatos de tecnologia, padrões regulatórios e impostos sobre tecnologias concorrentes (PINSKY e KRUGLIANSKAS, 2017).

outros equipamentos de transporte como contendo o maior percentual de empresas que, ao inovarem, impactam com alta relevância na redução dos danos ao meio ambiente.

Por fim, cabe destacar de maneira positiva o setor de coque e refino, que, mesmo com número relativamente pequeno de empresas inovativas, mais de 50% destas preocupam-se com a conversão da inovação em ganhos ambientais e, adicionalmente, cerca de 75% delas implementaram técnicas de gestão ambiental.

Tabela 2: Inovação e ecoinovação por setores produtivos

Setores	Participação Empresas inovadoras (%)	Redução do impacto ambiental			Técnicas de gestão ambiental (%)
		Alta (%)	Média (%)	Baixa/não relevante (%)	
Alimentos	14,74	16	18	66	36
Bebidas	1,01	40	15	45	50
Fumo	0,06	8	25	66	47
Produtos têxteis	2,95	25	23	53	34
Vestuário e acessórios	12,20	17	12	71	27
Artefatos de couro	3,38	30	15	55	42
Produtos de madeira	3,17	44	10	46	34
Celulose e papel	1,55	19	8	73	22
Impressão e gravações	2,00	49	3	47	60
Móveis	6,49	24	32	44	49
Produtos diversos	3,59	19	16	65	34
Coque e Refino	0,30	28	24	48	75
Borracha e plástico	6,99	24	16	61	37
Minerais não-metálicos	10,11	41	20	39	53
Metalurgia	1,60	30	16	53	50
Produtos de metal	8,39	20	14	66	36
Manutenção de máquinas	2,24	15	11	74	20
Produtos químicos	4,30	34	17	49	53
Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	2,44	29	10	60	39
Máquinas e equipamentos	6,35	17	18	65	41
Veículos automotores, reboques e carrocerias	2,58	36	12	52	33
Outros equipamentos de transporte	0,54	40	11	49	56
Produtos farmacêuticos e farmacêuticos	0,51	16	34	50	36
Informática, produtos eletrônicos e ópticos	2,51	21	13	65	22
<b>Total (%)</b>	<b>100,00</b>	<b>24</b>	<b>17</b>	<b>59</b>	<b>39</b>

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da PINTEC (2014).

#### 4.2 O modelo econométrico de ecoinovação

Os resultados econométricos são apresentados na Tabela 3. Inicialmente, procedeu-se com a análise apenas em primeiro nível, através do logit ordenado. Posteriormente, diante das

literaturas teóricas e empíricas sobre os determinantes das ecoinovações, inseriu-se a análise do logit ordenado multinível.

Uma análise relevante ao modelo hierárquico é a estimação do modelo não condicional (modelo nulo, sem a inclusão de variáveis preditoras), que permite estabelecer a existência de variabilidade na probabilidade de ecoinnovar, em suas diferentes intensidades, para os diferentes setores. A partir dessa estimação encontra-se a variância intersetorial (0,984), significativa estatisticamente, base para o cálculo do coeficiente de correlação intraclasse (ICC). O valor do ICC de 0,2302 indica que, aproximadamente 23% das variações na probabilidade de ecoinnovar das firmas brasileiras deve-se às heterogeneidades setoriais, justificando o uso da modelagem multinível. Tal resultado é corroborado com o teste LR, que reforça a necessidade de se fazer a análise em multinível, ao rejeitar a hipótese de que os efeitos aleatórios (Nível 2) são iguais a zero.

Tabela 3: Resultados dos modelos econométricos

Variável	Modelos		
	Logit ordenado	Logit ordenado multinível	Logit ordenado multinível (odds ratio)
<u>Nível 1: Empresa</u>			
intexp	0,0112*** (0,0020)	0,0178*** (0,0032)	1,0180
gov	0,1750*** (0,0225)	0,2060*** (0,0382)	1,2288
captec	-0,4400*** (0,0913)	-0,3940** (0,1612)	0,6744
intpd	0,0010*** (0,0000)	0,0022*** (0,0000)	1,0022
intinov	0,0007 (0,0006)	0,0012 (0,0011)	1,0012
interna	0,1780*** (0,0228)	0,2810*** (0,0372)	1,3245
externa	0,3260*** (0,0292)	0,5180*** (0,0478)	1,6787
sul	0,0693*** (0,0261)	0,1120*** (0,0424)	1,1185
ne	0,0100 (0,0401)	0,0187 (0,0652)	1,0189
no	0,1940*** (0,0599)	0,3530*** (0,1010)	1,4233
co	-0,1263 (0,0952)	-0,0138 (0,0878)	0,9863
peçoal	0,0004*** (0,0000)	0,0001*** (0,0000)	1,0001
capital	0,0580 (0,0360)	0,0819 (0,0587)	1,0854

prod	0,0001*** (0,0000)	0,0002*** (0,0000)	1,0002
<u>Nível 2: Setor</u>			
pdset	-	0,0335** (0,0017)	1,0341
expset	-	0,0219 (0,0774)	1,0221
concentra	-	0,0252*** (0,0029)	1,0255
difprod	-	-0,0255** (0,012)	0,9748
Variância intersetorial	-	0,984*** (0,427)	-
ICC	-	0,2302	-

\*\*\*, \*\* e \*: significância estatística a 1%, 5% e 10%, respectivamente

Fonte: Resultados da pesquisa.

Verifica-se que a intensidade da exportação da firma é uma variável significativa e afeta positivamente na probabilidade de as empresas adotarem ecoinovações. A inserção no mercado internacional, principalmente em países desenvolvidos, requer produtos ambientalmente corretos. Dessa forma, a fim de atender um mercado normalmente mais exigente, a ecoinovação – através da inovação de produto e melhores práticas de gestão ambiental – proporciona ganhos de competitividade à empresa no mercado internacional (FERRAZ e SEROA DA MOTTA, 2002; COLE, ELLIOT e SHIMAMOTO, 2006). Apesar de não existir um consenso na literatura sobre os efeitos da intensidade da exportação de uma firma sobre o nível de ecoinovação da mesma, é fato que o comércio internacional amplia o monitoramento sobre as práticas ambientais das empresas (ALMEIDA e FERNANDES, 2008), principalmente sobre os novos produtos, corroborando com o resultado encontrado neste trabalho.

A variável relacionada ao apoio do governo (gov) para as ecoinovações também foi significativa e reforça o papel dos incentivos fiscais na geração de inovação e, consequentemente, de ecoinovação nas empresas brasileiras. Esse resultado indica que o apoio governamental aumenta em, aproximadamente, 23% as chances das empresas estarem em categorias de ecoinovação mais relevantes em comparação às empresas que não recebem tal suporte do governo. Tal resultado pode ser explicado pelo fato do Brasil, segundo Araújo (2012), ter se tornado um dos países mais avançados com relação aos instrumentos legais de apoio à inovação industrial e que, nos últimos programas de incentivo e financiamento, vêm priorizando projetos que incentivam a energia renovável, o meio ambiente e a sustentabilidade, alavancando assim as tecnologias ecoinovadoras.

Quanto à relação entre capacitação tecnológica e ecoinovações, observa-se uma relação negativa e estatisticamente significativa ao nível de 5%. O resultado indica que quanto maior a proporção de colaboradores com formação superior na empresa, menor é a probabilidade desta empresa apresentar níveis superiores de ecoinovação. Tal resultado foi inesperado, pois a literatura indica a relação positiva (DEL RIO, ROMERO-JORDÁN e PEÑASCO, 2015; HORBACH, 2014a) ou mesmo a não significância desta relação (HORBACH, 2008; HORBACH et al., 2012).

Uma justificativa para o resultado inesperado refere-se à dificuldade em captar os aspectos qualitativos e de adequabilidade da formação para as atividades da empresa, principalmente inovativas. Infelizmente, não existem indicadores consistentes para estabelecer a real capacidade do capital humano na empresa, tornando assim uma limitação para pesquisas que relacionam capacitação tecnológica e ecoinovações. Mesmo com tais resultados, reforça-se a necessidade de investimentos em capacitação profissional interna dos colaboradores ao longo do processo de aprendizado da firma, a fim de garantir o desenvolvimento de tecnologias ecoinovadoras e uma melhor gestão ambiental do empreendimento, como preconizado na teoria evolucionária da firma.

Quanto às intensidades de P&D (*intpd*) e da estrutura inovativa (*intinov*), observa-se que ambas variáveis apresentam sinais positivos para a relação com os níveis de ecoinovação, mas somente a intensidade de P&D apresentou significância estatística nos padrões desejáveis. Dessa forma, os dispêndios em P&D, sejam internos ou por aquisição externa, são importantes para o desenvolvimento de estratégias inovativas que reduzam o impacto ao meio ambiente, ou seja, sugerem que firmas com maior intensidade em P&D tendem a fazer mais investimentos ecoinovativos que as demais. Ademais, esses dispêndios em P&D podem proporcionar, inclusive, a melhoria do capital humano (capacidades tecnológicas) na promoção das ecoinovações, reforçando o papel da capacitação de pessoal supracitada.

Por outro lado, a não significância da variável intensidade da estrutura inovativa indica que a aquisição de conhecimento externos, softwares, máquinas e equipamentos e outros procedimentos técnicos não têm o mesmo impacto que os investimentos diretamente realizados em P&D; ou seja, essas capacidades de absorção tecnológica externa à firma não são significativas para explicar a probabilidade da empresa ecoinnovar.

Os resultados econométricos também sugerem que as fontes de informação, interna e externa, empregadas pela empresa são determinantes significativos da ecoinovação em suas diferentes dimensões, conforme já identificado pela literatura correlata. Ademais, ao analisar a razão de chances (*odds ratio*), observa-se que a presença de fontes externas de informação

relevantes (concorrentes, fornecedores, clientes, centros de pesquisa, etc.) implica em um aumento de, aproximadamente, 67,87% nas chances de as empresas estarem em categorias deecoinovação superiores, relativamente às empresas que não recebem tal aparato informacional; valor consideravelmente superior à razão de chances das fontes internas de informação (32,45%).

Tais resultados convergem para a literatura teórica da inovação, como em Cohen e Levinthal (1989), que caracteriza a importância das firmas em investir em estruturas de comunicação que permitam desenvolver e manter a capacidade empresarial de apreender e explorar informações disponíveis externamente. Dessa forma, evidencia-se que a presença de fontes de informação internas e externas na firma podem garantir ganhos estratégicos para o processo inovativo e ecoinovativo, sendo que a gestão integrada dessas fontes pode garantir resultados superiores, tanto econômicos quanto ambientais, corroborando com as considerações de Linder, Jarvenpaa e Davenport (2003).

As variáveis pessoal ocupado (pessoal) e produtividade do trabalho (prod) também apresentam coeficientes significativos e positivos. A variável pessoal pode ser considerada uma proxy para o tamanho da empresa, reforçando que empresas maiores têm melhores condições de realizar ecoinovações, como também encontrado em Ferraz e Seroa da Motta (2002), Cole, Elliot e Shimamoto (2006), Horbach (2008) e Lucchesi et al. (2014). Por sua vez, a variável prod indica que firmas com processos produtivos mais eficientes apresentam maior probabilidade de ecoinovarem, relativizando a ideia da existência de trade-off entre produtividade e desempenho sustentável (PORTER e VAN DER LINDE, 1995).

Na análise regional, observa-se que apenas as dummies para as regiões Sul e Norte apresentaram significância estatística (base Região Sudeste), indicando que as empresas das referidas regiões apresentam maior probabilidade de ecoinnovar. Por sua vez, a variável referente à presença de capital controlador estrangeiro (capital) não foi significativa. A literatura empírica apresentada indica que não há consenso sobre o papel das características de controle societário e locais na identificação dos determinantes da ecoinovação.

Em relação às variáveis de segundo nível (setor), somente a variável expset (intensidade de exportação setorial) não foi significativa. As variáveis intensidade tecnológica setorial (pdset) e concentração setorial (concentra) apresentaram relação positiva com a ecoinovação, enquanto a variável denominada diferenciação de produto (difprod) apresentou coeficiente negativo.

Em relação à variável pdset, a intensidade tecnológica é distribuída de forma heterogênea entre os setores produtivos (PAVITT, 1984), o que também parece ocorrer com a

ecoinovação; ou seja, os resultados indicam que os setores com maiores níveis de intensidade tecnológica estão mais propensos também a ecoinovarem. Esse resultado é corroborado pela análise de Horbach (2008), ao argumentar que as empresas pertencentes a setores com alta intensidade tecnológica são mais propensas a inovar, seja em inovação ambiental ou convencionais.

A justificativa para a relação positiva entre a variável concentra e os diferentes níveis de ecoinovação encontra respaldo no tamanho da empresa, mais precisamente, firmas maiores, e que estão inseridas em um mercado mais concentrado, tendem a inovar mais pelo fato da concorrência nestes mercados ocorrerem por diferenciação de produto. Especificamente, as exigências do mercado consumidor por produtos sustentáveis e, conseqüentemente, a percepção da imagem da empresa perante a esse consumidor reforçam que a diferenciação de produto deve ser proveniente de inovações que também reduza o impacto no meio ambiente. Adicionalmente, o argumento financeiro também é válido, uma vez que empresas maiores, pertencentes a setores mais concentrados, dispõem de mais recursos para investimento inovativo. Tais resultados são coerentes com os achados de Frondel, Horbach e Rennings (2007) e Kammerer (2009) e os aspectos teóricos desenvolvidos por Schumpeter (1984).

Por fim, a variável relacionada à proporção de empresas no setor que realizam inovação de produto (difprod) apresentou relação negativa com as diferentes intensidades de ecoinovação, indicando que inovar em produto nem sempre garante ganhos ambientais. Uma explicação para tal resultado é o fato das inovações em produto prezarem mais pela inserção do produto no mercado do que por uma gestão produtiva sustentável. Por sua vez, a inovação de processo tem interesse primal na eficiência produtiva, sendo, portanto, a redução dos impactos ambientais mais perceptível por meio de melhorias no próprio processo de produção (as ecoinovações aditivas e integradas) (ANDERSEN, 2008).

De modo geral, os resultados encontrados sobre os determinantes da ecoinovação brasileira para o período analisado estão em concordância com os resultados de destacados trabalhos empíricos, nacionais e internacionais. Os resultados corroboram a máxima de que as ecoinovações estão associadas tanto a características individuais da firma quanto às especificidades setoriais, ou seja, os diferentes padrões de inovação setoriais existentes atuam como direcionadores da atividade ecoinovativa.

## 5. Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho consistiu na análise, através da metodologia logit ordenado multinível, dos determinantes da ecoinovação, em suas diferentes intensidades, na atual estrutura industrial brasileira. A análise englobou tanto características específicas das firmas como também aspectos setoriais.

Os resultados indicaram a importância das heterogeneidades setoriais na probabilidade das empresas ecoinovarem, além dos fatores individuais das firmas. A nível da empresa, as variáveis intensidade da exportação, apoio do governo, intensidade de P&D, fontes de informação (interna e externa), pessoal ocupado e produtividade foram significativas e positivamente relacionadas aos níveis de ecoinovação.

Já a variável capacitação tecnológica apresentou relação negativa e estatisticamente significativa, o que contrariou as expectativas que indicavam uma relação positiva entre qualificação pessoal e a probabilidade em ecoinnovar. Contudo, possivelmente, tal resultado indicou a dificuldade em captar os aspectos qualitativos e de adequabilidade da formação para as atividades da empresa. Dessa forma, esse resultado pode ser indício de um dos gargalos do desenvolvimento produtivo brasileiro: a adequada qualificação para o mercado de trabalho.

Em relação ao segundo nível, as variáveis intensidade tecnológica setorial e concentração setorial apresentaram relação positiva com a ecoinovação, enquanto a variável denominada diferenciação de produto apresentou coeficiente negativo. Esses resultados são condizentes com a literatura empírica e teórica sobre a temática, reforçando a importância das características setoriais no desenvolvimento das ecoinovações.

Dessa forma, os resultados obtidos permitem concluir que a adoção de ecoinovações é setorialmente heterogênea e depende tanto das características dos setores quanto das firmas, evidenciando o caráter complexo e sistemático do processo ecoinovativo. Tais resultados ganham ainda mais relevância ao pautar variáveis que podem servir de base para a construção de políticas industriais direcionadas à redução de danos ambientais.

Nesse sentido, o fortalecimento de ações de P&D, os investimentos públicos tanto no financiamento de pesquisas quanto na difusão de estratégias ecoinovativas, a maior relação entre instituições de pesquisa e ensino com as empresas e instrumentos regulatórios específicos podem contribuir para se ter um setor industrial mais aberto a práticas eficientes de gestão ambiental.

Acredita-se, ainda, que deve haver avanços no processo de conhecimento das práticas inovativas e ecoinovativas nas empresas brasileiras. Nessa perspectiva, sugere-se que a

PINTEC amplie e especifique os questionamentos sobre a adoção de ecoinovações e seus determinantes, caracterizando seus tipos e estabelecendo um conjunto de dados mais realístico da ecoinovação na indústria brasileira.

Em síntese, acredita-se que este trabalho contribui para o debate acerca dos determinantes da ecoinovação nos processos produtivos industriais do Brasil, ao propor estratégias que garantam um desenvolvimento industrial sustentável. Espera-se, ainda, que extensões futuras deste trabalho englobem a análise longitudinal dos dados, a fim compreender a dinâmica da ecoinovação ao longo do tempo, seja em períodos de crescimento expressivo ou recessão econômica.

## Referências

ALBORNOZ, F.; COLE, M. A.; ELLIOTT, R. J.; ERCOLANI, M. G. In search of environmental spillovers. **The World Economy**, v. 32, n. 1, p. 136-163, 2009. DOI: 10.1111/j.1467-9701.2009.01160.x

ALMEIDA, R.; FERNANDES, A. M. Openness and technological innovations in developing countries: evidence from firm-level surveys. **The Journal of Development Studies**, v. 44, n. 5, p. 701-727, 2008. DOI: 10.1080/00220380802009217

ALPERSTEDT, G. D.; QUINTELLA, R. H.; SOUZA, L. R. Estratégias de gestão ambiental e seus fatores determinantes: uma análise institucional. **Revista de Administração de Empresas**, v. 50, n. 2, p.170-186, 2010. DOI: 10.1590/S0034-75902010000200004

ANDERSEN, M. M. Eco-innovation–towards a taxonomy and a theory. In: 25th celebration DRUID conference, Copenhagen – Denmark, 2008. **Annals**. Copenhagen: DRUID, 2008.

ANTONIOLI, D.; MAZZANTI, M. Techno-organisational strategies, environmental innovations and economic performances. Microevidence from an SME-based industrial district. **Journal of Innovation Economics & Management**, v. 3, n. 1, p. 145-168, 2009. DOI: 10.3917/jie.003.0145

ARAÚJO, B. C. Políticas de apoio à inovação no Brasil: uma análise de sua evolução recente. **Texto para Discussão TD1759**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: IPEA, 2012.

ARROW, K. J. Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention. In: ROWLEY, C. K. (Ed.) **Readings in Industrial Economics**. London: Palgrave, 1962. p. 219-236. DOI: 10.1007/978-1-349-15486-9\_13

ARUNDEL, A.; KEMP, R.; PARTO, S. Indicators for Environmental Innovation: what and how to measure. In: MARINOVA, D.; ANNANDALE, D.; PHILIMORE, J. (eds.) **International Handbook on Environment and Technology Management**. Cheltenham: Edward Elgar, 2007.

AVELLAR, A. P. M.; BRITTO, J. N. P.; STALLIVIERI, F. Capacitação inovativa e produtividade na indústria brasileira: evidências da diversidade inter-setorial. **Economia e Sociedade**, v. 21, n. 2, p. 301-343, 2012. DOI: 10.1590/S0104-06182012000200004

BARBIERI, N.; GHISSETTI, C.; GILLI, M.; MARIN, G.; NICOLLI, F. A survey of the literature on environmental innovation based on main path analysis. **Journal of Economic Surveys**, v. 30, n. 3, p. 596-623, 2016. DOI: 10.1111/joes.12149

BERNAUER, T.; ENGEL, S.; KAMMERER, D.; SEJAS NOGAREDA, J. Explaining green innovation: ten years after Porter's win-win proposition: how to study the effects of regulation on corporate environmental innovation? **Politische Vierteljahresschrift**, v. 39, n. 1, p. 323-341, 2007.

BERRONE, P.; FOSFURI, A.; GELABERT, L.; GOMEZ-MEJIA, L. R. Necessity as the mother of 'green' inventions: Institutional pressures and environmental innovations. **Strategic Management Journal**, v. 34, n. 8, p. 891-909, 2013. DOI: 10.1002/smj.2041

BRITO, S. D. C.; AGUIAR, A. O. A relação entre o desenvolvimento de produtos verdes e as estratégias ambientais—o caso de uma empresa multinacional do setor de produtos eletroeletrônicos. **Revista de Administração e Inovação**, v. 11, n. 4, p. 287-309, 2014. DOI: 10.11606/rai.v11i4.110246

BRUNNERMEIER, S. B.; COHEN, M. A. Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 45, n. 2, p. 278-293, 2003. DOI: 10.1016/S0095-0696(02)00058-X

BRUNDTLAND, G. H. (Org.) Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1987. **Nosso futuro comum (Relatório Brundtland)**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CAI, W. G.; LI, G. The drivers of eco-innovation and its impact on performance: Evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 110-118, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.109

CAI, W. G.; ZHOU, X. L. On the drivers of eco-innovation: Empirical evidence from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 79, p. 239-248, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.035

CAINELLI, G.; MAZZANTI, M.; MONTRESOR, S. Environmental innovations, local networks and internationalization. **Industry and Innovation**, v. 19, n. 8, p. 697-734, 2012. DOI: 10.1080/13662716.2012.739782

CAMPOS, B.; RUIZ, A. U. Padrões setoriais de inovação na indústria brasileira. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 8, n. 1, p. 167-210, 2009. DOI: 10.20396/rbi.v8i1.8648978

CARVALHO, F.; SAVAGET, P.; ARRUDA, C. Regulações como fator determinante de Eco-Inovações no Brasil. In: Conferência Internacional LALICS 2013 “Sistemas Nacionais de Inovação e Políticas de CTI para um Desenvolvimento Inclusivo e Sustentável”, Rio de Janeiro – RJ, 2013. **Anais**. Rio de Janeiro: Redesist, 2013.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política. **São Paulo em Perspectiva**, v. 19, n. 1, p. 34-45, 2005. DOI: 10.1590/S0102-88392005000100003

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R & D. **The Economic Journal**, v. 99, n. 397, p. 569-596, 1989. DOI: 10.2307/2233763

COLE, M. A.; ELLIOTT, R. J.; SHIMAMOTO, K. Globalization, firm-level characteristics and environmental management: A study of Japan. **Ecological Economics**, v. 59, n. 3, p. 312-323, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.10.019

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; ...; RASKIN, R. G. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997. DOI: 10.1038/387253a0

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; ...; VAN DEN BELT, M. The value of ecosystem services: putting the issues in perspective. **Ecological Economics**, v. 25, p. 67-72, 1998.

DAILY, G. **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington: Island Press, 1997.

DAILY, G. C.; SÖDERQVIST, T.; ANIYAR, S.; ARROW, K.; DASGUPTA, P.; EHRLICH, P. R.; ...; LEVIN, S. The value of nature and the nature of value. **Science**, v. 289, n. 5478, p. 395-396, 2000. DOI: 10.1126/science.289.5478.395

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7

DE MARCHI, V. Environmental innovation and R&D cooperation: Empirical evidence from Spanish manufacturing firms. **Research Policy**, v. 41, n. 3, p. 614-623, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2011.10.002

DEL RIO, P.; ROMERO-JORDÁN, D.; PEÑASCO, C. Analysing firm-specific and type-specific determinants of eco-innovation. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 23, n. 2, p. 270-295, 2015. DOI: 10.3846/20294913.2015.1072749

DEL RÍO, P.; PEÑASCO, C.; ROMERO-JORDÁN, D. What drives eco-innovators? A critical review of the empirical literature based on econometric methods. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, n. 4, p. 2158-2170, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.009

DEMIREL, P.; KESIDOU, E. Stimulating different types of eco-innovation in the UK: Government policies and firm motivations. **Ecological Economics**, v. 70, n. 8, p. 1546-1557, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.03.019

DINIZ, M. J.; DINIZ, M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N. A introdução de inovações ambientais afeta o desempenho da indústria? Um estudo empírico para o Polo Industrial de Manaus (2000-2006). In: V Encontro Nacional da ANPPAS, Florianópolis - SC, 2010. **Anais**. São Paulo: ANPPAS, 2010.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982. DOI: 10.1016/0048-7333(82)90016-6

DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the patterns of industrial dynamics**. London: Macmillan. 1984. DOI: 10.1007/978-1-349-17521-5\_3

DOSI, G. Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. **Journal of Economic Literature**, v. 26, n. 3, p. 1120-1171, 1988.

DOSI, G.; MARENGO, L. Some elements of an evolutionary theory of organizational competences. In: RICHARD, W. E. (Ed.). **Evolutionary concepts in contemporary economics**. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1994. p. 157-178.

ENE, M.; LEIGHTON, E. A.; BLUE, G. L.; BELL, B. A. Multilevel Models for Categorical Data using SAS® PROC GLIMMIX: The Basics. **Paper 3430-2015**. University of South Carolina. Columbia: USC, 2015.

FARBER, S. C.; COSTANZA, R.; WILSON, M. A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 375-392, 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00088-5

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados – Estatística e Modelagem Multivariada com Excel, SPSS e Stata**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERRAZ, C.; SEROA DA MOTTA, R. Regulação, Mercado ou Pressão Social? Os determinantes do investimento ambiental na indústria. **Texto para Discussão TD 0863**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro: IPEA, 2002.

FREEMAN, C. Innovation and the strategy of the firm. In: FREEMAN, C. **The Economics of Industrial Innovation**. Harmondsworth: Penguin Books, 1974. p. 224-288.

FREEMAN, C. Inovação e ciclos longos de desenvolvimento econômico. **Ensaios FEE**, v. 5, n. 1, p. 5-20, 1984.

FREEMAN, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, v. 19, n. 1, p. 5-24, 1995. DOI: 10.1093/oxfordjournals.cje.a035309

FREIRE, P. A. Enhancing innovation through behavioral stimulation: The use of behavioral determinants of innovation in the implementation of eco-innovation processes in industrial sectors and companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1677-1687, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.027

FRIEDMAN, B. M. The moral consequences of economic growth. **Society**, v. 43, n. 2, p. 15-22, 2006.

FRONDEL, M.; HORBACH, J.; RENNINGS, K. End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries. **Business Strategy and the Environment**, v. 16, n. 8, p. 571-584, 2007. DOI: 10.1002/bse.496

FUSSLER, C.; JAMES, P. **Driving Eco-Innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability**. London: Pitman, 1996.

GHISETTI, C.; MARZUCCHI, A.; MONTRESOR, S. The open eco-innovation mode. An empirical investigation of eleven European countries. **Research Policy**, v. 44, n. 5, p. 1080-1093, 2015. DOI: 10.1016/j.respol.2014.12.001

GRILLI, L.; RAMPICHINI, C. A multilevel multinomial logit model for the analysis of graduates' skills. **Statistical Methods & Applications**, v. 16, n. 3, p. 381-393, 2007. DOI: 10.1007/s10260-006-0039-z

GROSSMAN, G. M.; KRUEGER, A. B. Economic Growth and the Environment. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 110, n. 2, p. 353-377, 1995. DOI: 10.2307/2118443

HOFF, D. N.; AVELLAR, A. P.; ANDRADE, D. C. Eco-inovação nas empresas brasileiras: investigação empírica a partir da PINTEC. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 26, p. 73-87, 2016.

HOJNIK, J.; RUZZIER, M. What drives eco-innovation? A review of an emerging literature. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, v. 19, p. 31-41, 2016. DOI: 10.1016/j.eist.2015.09.006

HORBACH, J. Determinants of environmental innovation - New evidence from German panel data sources. **Research Policy**, v. 37, n. 1, p. 163-173, 2008. DOI: 10.1016/j.respol.2007.08.006

HORBACH, J. Do eco-innovations need specific regional characteristics? An econometric analysis for Germany. **Review of Regional Research**, v. 34, n. 1, p. 23-38, 2014a. DOI: 10.1007/s10037-013-0079-4

HORBACH, J. Determinants of Eco-innovation from a European-wide Perspective - an analysis based on the Community Innovation Survey (CIS). **SEEDS Working Paper**, v. 7, 2014b.

HORBACH, J.; RAMMER, C.; RENNINGS, K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact - The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. **Ecological Economics**, v. 78, p. 112-122, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.04.005

HUETING, R.; REIJNDERS, L.; DE BOER, B.; LAMBOOY, J.; JANSEN, H. The concept of environmental function and its valuation. **Ecological Economics**, v. 25, n. 1, p. 31-35, 1998. DOI: 10.1016/S0921-8009(98)00011-1

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Inovação 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Inovação 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa de Inovação 2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

JAFFE, A. B.; PALMER, K. Environmental regulation and innovation: a panel data study. **Review of Economics and Statistics**, v. 79, n. 4, p. 610-619, 1997. DOI: 10.1162/003465397557196

KAMMERER, D. The effects of customer benefit and regulation on environmental product innovation.: Empirical evidence from appliance manufacturers in Germany. **Ecological Economics**, v. 68, n. 8-9, p. 2285-2295, 2009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.02.016

KEMP, R.; PEARSON, P. Final report MEI project about measuring ecoinnovation: Deliverable 15 of MEI project (D15). **Project Report**. Paris: OECD, 2008.

KEMP, R.; SOETE, L. The Greening of Technological Progress: an evolutionary perspective. **Futures**, v. 24, n. 5, p. 437-457, 1992. DOI: 10.1016/0016-3287(92)90015-8

LEITE, P. R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LI, Y. Environmental innovation practices and performance: Moderating effect of resource commitment. **Journal of Cleaner Production**, v. 66, p. 450-458, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.044

LIMBURG, K. E.; FOLKE, C. The ecology of ecosystem services: introduction to the special issue. **Ecological Economics**, v. 29, p. 179-182, 1999.

LIN, H.; ZENG, S. X.; MA, H. Y.; QI, G. Y.; TAM, V. W. Y. Can political capital drive corporate green innovation? Lessons from China. **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 63-72, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.07.046

LINDER, J. C.; JARVENPAA, S.; DAVENPORT, T. H. Toward an innovation sourcing strategy. **MIT Sloan Management Review**, v. 44, n. 4, p. 43-49, 2003.

LLOPIS, E. J.; BLASCO, A. S. Eco-innovation strategies: A panel data analysis of Spanish manufacturing firms. **Business Strategy and the Environment**, v. 27, n. 8, p. 1209-1220, 2018. DOI: 10.1002/bse.2063

LUCCHESI, A.; COLE, M. A.; ELLIOT, J. R. R.; MENEZES-FILHO, N. A. Determinants of Environmental Innovation in Brazilian Manufacturing Industries. In: XLII Encontro Nacional de Economia, Natal – RN, 2014. **Anais**. Brasília: ANPEC, 2014.

LUNDEVALL, B. A. **National systems of innovation: towards a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter Publishers, 1992.

LUSTOSA, M. C. **Meio Ambiente, Inovação e Competitividade na Indústria Brasileira: A Cadeia Produtiva do Petróleo**. Tese (Doutorado em Economia). Rio de Janeiro: Instituto de Economia, UFRJ, 2002.

MALERBA, F. Learning by firms and incremental technical change. **The Economic Journal**, v. 102, n. 413, p.845-859, 1992. DOI: 10.2307/2234581

MARCOVITCH, J. **Para mudar o futuro: mudanças climáticas, políticas públicas e estratégias empresariais**. São Paulo: Edusp, 2006.

MARTA, F. S.; CARVALHO, P. G. M.; SILVA, D. B.; BARCELLOS, F. C. Investimento em controle ambiental no Brasil: fatores determinantes a partir da modelagem estatística. In: 39º Encontro Nacional de Economia, Foz do Iguaçu – PR, 2011. **Anais**. Brasília: ANPEC, 2011.

MATION, L. F. Comparações internacionais de produtividade e impactos do ambiente de negócios. In. DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L. R. **Produtividade no Brasil: desempenho e determinantes**. Brasília: ABDI/IPEA, 2014. 445 p.

MAZZANTI, M.; ZOBOLI, R. Examining the Factors Influencing Environmental Innovations. **FEEM Working Paper**, n. 20, 2006.

NADEL, S. The determinants of eco innovative performance according to firms' strategic profiles: The case of French Industrial Firms. **Paper DRUID Academy**, p. 19-21, 2012.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. In search of a useful theory of innovations. **Research Policy**, v. 6, n. 1, p. 36-76, 1977. DOI: 10.1016/0048-7333(77)90029-4

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Harvard University, 1982.

O'CONNELL, A. A. An illustration of multilevel models for ordinal response data. **ICOTS8 Invited Paper**, International Association of Statistical Education, The Ohio State University - United States of America. Columbus: IASE, 2010.

OLIVEIRA, C. A.; CARVALHO, F. P.; DUTRA, H. D. Eco-Inovações em Empresas Brasileiras: Determinantes e Resultados. In: **XXVII Simpósio de Gestão da Inovação tecnológica**, Salvador - BA, 2012. Anais. Rio de Janeiro: ANPAD, 2012.

OLTRA, V. Environmental Innovation and Industrial Dynamics: the contributions of evolutionary economics. **Cahiers du GREThA**, UMR CNRS 5113, n. 28, 2008.

PACHECO, D. A. J.; CARLA, S.; JUNG, C. F.; RIBEIRO, J. L. D.; NAVAS, H. V. G.; CRUZ-MACHADO, V. A. Eco-innovation determinants in manufacturing SMEs: Systematic review and research directions. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2277-2287, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.049

PATTERSON, M. G. Ecological production based pricing of biosphere processes. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 457-478, 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00094-0

PAVITT, K. Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory. **Research Policy**, v. 13, n. 6, p. 343-373, 1984. DOI: 10.1016/0048-7333(84)90018-0

PINSKY, V.; KRUGLIANSKAS, I. Inovação tecnológica para a sustentabilidade: aprendizados de sucessos e fracassos. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 90, p. 107-126, 2017. DOI: 10.1590/s0103-40142017.3190008

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

QUEIROZ, J. M.; PODCAMENI, M. G. V. B. Estratégia inovativa das firmas brasileiras: convergência ou divergência com as questões ambientais? **Revista Brasileira de Inovação**, v. 13, n. 1, p. 187-224, 2014. DOI: 10.20396/rbi.v13i1.8649076

RABÊLO, O. S.; MELO, A. S. S. A. Drivers of multidimensional eco-innovation: empirical evidence from the Brazilian industry. **Environmental Technology**, v. 39, p. 1-11, 2018. DOI: 10.1080/09593330.2018.1447022

RAUDENBUSH, S. W.; BRYK, A. S. **Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods**. 2 ed. Newbury Park: Sage Publications, 2002. 512 p.

REHFELD, K.; RENNINGS, K.; ZIEGLER, A. Integrated product policy and environmental product innovations: An empirical analysis. **Ecological Economics**, v. 61, n. 1, p. 91-100, 2007. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.02.003

RENNINGS, K. Redefining innovation – eco-innovation research and the contribution from ecological economics. **Ecological Economics**, v. 32, n. 1, p. 319-332, 2000. DOI: 10.1016/S0921-8009(99)00112-3

REXHÄUSER, S.; RAMMER, C. Unmasking the Porter hypothesis: Environmental innovations and firm-profitability. **ZEW Discussion Paper**, n. 11-036. ZEW (Centre for European Economic Research), Mannheim, 2011.

ROGERS, M. Networks, firm size and innovation. **Small Business Economics**, v. 22, n. 2, p. 141-153, 2004. DOI: 10.1023/B:SBEJ.0000014451.99047.69

ROSENBERG, N. **Inside the Black Box: Technology and Economics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

SALIM, N.; RAHMAN, M. N. A.; WAHAB, D. A. A systematic literature review of internal capabilities for enhancing eco-innovation performance of manufacturing firms. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 1445-1460, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.105

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.

SCHUMPETER, J. A. O processo de destruição criadora. In. SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Cap. 7. Rio de Janeiro: Zahar, 1984.

SCOTT, J. T. **Environmental Research and Development: US Industrial Research, the Clean Air Act, and Environmental Damage**. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2003.

SEROA DA MOTTA, R. Analyzing the environmental performance of the Brazilian industrial sector. **Ecological Economics**, v. 57, n. 2, p. 269-281, 2006. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2005.04.008

SEVERO, E. A.; GUIMARÃES, J. C. F.; DORION, E. C. H.; NODARI, C. H. Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 118-125, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.027

SOLOW, R. M. The Economics of Resources or the Resources of Economics. **The American Economic Review**, v. 64, n. 2, p. 1-14. 1974.

SOLOW, R. M. On the intergenerational allocation of natural resources. **The Scandinavian Journal of Economics**, v. 88, n. 1, p. 141-149, 1986. DOI: 10.2307/3440280

STATA. **Stata: Release 14**. Statistical Software. College Station, TX: StataCorp LP, 2015.

SUKHDEV, P. The Economics of Ecosystems and Biodiversity. **Interim Report of the Convention on Biological Diversity**. Cambridge: European Communities, 2008.

TESTA, F.; IRALDO, F. Shadows and lights of GSCM (Green Supply Chain Management): Determinants and effects of these practices based on a multi-national study. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 10-11, p. 953-962, 2010. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.03.005

TRIGUERO, A.; MORENO-MONDEJAR, L.; DAVIA, M. A. Drivers of different types of eco-innovation in European SMEs. **Ecological Economics**, v. 92, p. 25-33, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2013.04.009

VEUGELERS, R. Which policy instruments to induce clean innovating? **Research Policy**, v. 41, n. 10, p. 1770-1778, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2012.06.012

WAGNER, M. Empirical influence of environmental management on innovation: evidence from Europe. **Ecological Economics**, v. 66, n. 2-3, p. 392-402, 2008. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.10.001

XAVIER, A. F.; NAVEIRO, R. M.; AOUSSAT, A.; REYES, T. Systematic literature review of eco-innovation models: Opportunities and recommendations for future research. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 1278-1302, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.145



Características da empresa		
<p>A unidade de investigação da pesquisa é a <b>empresa</b>, definida como sendo a unidade jurídica caracterizada por uma firma ou razão social, que engloba o conjunto de atividades econômicas exercidas em uma ou mais unidades locais e que responde pelo capital investido nestas atividades.</p> <p><b>Capital controlador</b> é aquele que é titular de uma participação no capital social que lhe assegura a maioria dos votos e que, portanto, possui direitos permanentes de eleger os administradores e de preponderar nas deliberações sociais, ainda que não exerça este direito, ausentando-se das assembleias ou nelas se abstendo de votar.</p> <p><b>Origem do capital controlador</b> - O capital controlador é nacional quando está sob titularidade direta ou indireta de pessoas físicas ou jurídicas residentes e domiciliadas no país. O capital controlador é estrangeiro quando está sob titularidade direta ou indireta de pessoas físicas ou jurídicas domiciliadas fora do país.</p>		
1 - Origem do capital controlador da empresa:		
1 <input type="checkbox"/> Nacional	2 <input type="checkbox"/> Estrangeiro	3 <input type="checkbox"/> Nacional e Estrangeiro
2 - No caso do capital controlador estrangeiro, qual a sua localização?		
1 <input type="checkbox"/> Mercosul	4 <input type="checkbox"/> Outros países da América	7 <input type="checkbox"/> Oceania ou África
2 <input type="checkbox"/> Estados Unidos	5 <input type="checkbox"/> Ásia	
3 <input type="checkbox"/> Canadá e México	6 <input type="checkbox"/> Europa	
3 - Sua empresa é:		
1 <input type="checkbox"/> Independente	2 <input type="checkbox"/> Parte de um grupo	
4. Onde se localiza a empresa matriz do grupo?		
1 <input type="checkbox"/> Brasil	3 <input type="checkbox"/> Estados Unidos	5 <input type="checkbox"/> Ásia
2 <input type="checkbox"/> Mercosul	4 <input type="checkbox"/> Europa	6 <input type="checkbox"/> Outros Países
5 - Qual o principal mercado da empresa entre 2012 e 2014?		
1 <input type="checkbox"/> Estadual	4 <input type="checkbox"/> Mercosul	7 <input type="checkbox"/> Ásia
2 <input type="checkbox"/> Regional	5 <input type="checkbox"/> Estados Unidos	8 <input type="checkbox"/> Outros Países
3 <input type="checkbox"/> Nacional	6 <input type="checkbox"/> Europa	
6 - Breve descrição do produto (bem ou serviço) mais importante da sua empresa em termos de faturamento:		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
8 - Qual era o número de pessoas ocupadas na sua empresa em 31/12/2014?		
<input type="text"/>		
9 - Qual a receita líquida de vendas (declarada no balanço da empresa ou no simples, se for o caso) da sua empresa no ano de 2014?		
<input type="text"/>		

### Produtos e processos novos ou aprimorados

Nesta pesquisa, uma inovação de produto ou processo é a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo novo ou significativamente melhorado.

A inovação se refere a produto e/ou processo novo (ou substancialmente aprimorado) para a empresa, não sendo, necessariamente, novo para o mercado/setor de atuação, podendo ter sido desenvolvida pela empresa ou por outra empresa/instituição.

A inovação pode resultar de novos desenvolvimentos tecnológicos, de novas combinações de tecnologias existentes ou da utilização de outros conhecimentos adquiridos pela empresa.

### Inovação de produto

**Produto novo** (bem ou serviço) é um produto cujas características fundamentais (especificações técnicas, componentes e materiais, *software* incorporado, *user friendliness*, funções ou usos pretendidos) diferem significativamente de todos os produtos previamente produzidos pela empresa.

**Significativo aperfeiçoamento de produto** (bem ou serviço) refere-se a um produto previamente existente, cujo desempenho foi substancialmente aumentado ou aperfeiçoado. Um produto simples pode ser aperfeiçoado (no sentido de obter um melhor desempenho ou um menor custo) através da utilização de matérias-primas ou componentes de maior rendimento. Um produto complexo, com vários componentes ou subsistemas integrados, pode ser aperfeiçoado via mudanças parciais em um dos componentes ou subsistemas. Um serviço também pode ser substancialmente aperfeiçoado por meio da adição de nova função ou de mudanças nas características de como ele é oferecido, que resultem em maior eficiência, velocidade ou facilidade de uso do produto, por exemplo.

**Não são incluídas:** as mudanças puramente estéticas ou de estilo e a comercialização de produtos novos integralmente desenvolvidos e produzidos por outra empresa.

10 - Entre 2012 e 2014, a empresa introduziu produto (bem ou serviço) novo ou significativamente aperfeiçoado para a empresa, mas já existente no mercado nacional?

1  Sim                      2  Não

11 - Entre 2012 e 2014, a empresa introduziu produto (bem ou serviço) novo ou significativamente aperfeiçoado para o mercado nacional?

1  Sim                      2  Não

12 - Descreva brevemente o principal produto (bem ou serviço) novo ou substancialmente aperfeiçoado, lançado por sua empresa no mercado entre 2012 e 2014:


13 - Este produto é:

- 2  Novo para a empresa, mas já existente no mercado nacional
- 3  Novo para o mercado nacional, mas já existente no mercado mundial
- 4  Novo para o mercado mundial

13.1 - Em termos técnicos este produto é:

- 1  Aprimoramento de um já existente
- 2  Completamente novo para a empresa

14 - Quem desenvolveu esta inovação e onde se localiza?

	Brasil (UF)	Exterior
1 <input type="checkbox"/> Principalmente a empresa .....	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2 <input type="checkbox"/> Principalmente outra empresa do grupo .....	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3 <input type="checkbox"/> Principalmente a empresa em cooperação com outras empresas ou institutos .....	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4 <input type="checkbox"/> Principalmente outras empresas ou institutos .....	<input type="text"/>	<input type="text"/>





### Fontes de financiamento das atividades inovativas

Distribua percentualmente o valor dos dispêndios de acordo com as fontes de financiamento utilizadas para **atividades internas de P&D**.

Fontes de financiamento	P&D interno
<b>Financiamento da própria empresa</b>	
Fundos próprios (inclusive empréstimos) .....	38  %
<b>Financiamento de outras empresas brasileiras</b>	
De empresas estatais (ex: Petrobrás, Eletrobrás, etc.) .....	38.1  %
De empresas privadas, de instituições de pesquisa, centros tecnológicos e universidades privados .....	39  %
<b>Financiamento público</b>	
De instituições financeiras estatais (FINEP, BNDES, BB, BND, BASA) .....	40.1  %
De outros organismos da administração pública (administração direta, FAP's, instituições de pesquisa centros tecnológicos, universidades e empresas como EMBRAPA, etc.) .....	40.2  %
<b>Financiamento procedente do exterior</b>	
De empresas do mesmo grupo, de outras empresas, de governos, de universidades, de organismos internacionais, etc. ....	40.3  %
<b>Total</b> .....	100%

Distribua percentualmente o valor dos dispêndios de acordo com as fontes de financiamento utilizadas para **outras atividades inovativas, exceto atividades internas de P&D**.

Fontes de financiamento para outras atividades inovativas	(%) Outras atividades (inclusive aquisição externa de P&D)
<b>Financiamento da própria empresa</b> .....	41  %
<b>Financiamento de terceiros</b>	
Privado .....	42  % =  % +  % 42.1 Nacional 42.2 Estrangeiro
Público (FINEP, BNDES, SEBRAE, BB, etc.) .....	43  % =  % +  % 43.1 Nacional 43.2 Estrangeiro
<b>Total</b> .....	100%

### Compra de serviços de pesquisa & desenvolvimento

Distribua percentualmente o valor do dispêndio informado no item 32 - Aquisição externa de P&D, segundo o tipo de organização realizadora do serviço de P&D

Tipo de organização realizadora do serviço	P&D externo
<b>No Brasil</b>	
De empresas privadas e estatais e de instituições de pesquisa e centros tecnológicos privados .....	197  %
De universidades privadas .....	198  %
De universidades públicas .....	199  %
De outros organismos da administração pública (administração direta, FAP's, instituições de pesquisas e centros tecnológicos e empresas como EMBRAPA, etc.) ..	200  %
<b>No exterior</b>	
De empresas do mesmo grupo, de outras empresas, de governos, de universidades, de organismos internacionais, etc. ....	201  %
<b>Total</b> .....	100%

### Atividades internas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)

44 - As atividades de Pesquisa e Desenvolvimento, realizadas no período entre 2012 e 2014, foram:

1  Contínuas                      2  Ocasionais

45 - Indique a localização do Departamento de P&D da empresa ou, no caso de não haver uma unidade formal ou existir mais de uma, onde se concentram predominantemente as atividades de P&D da empresa.

Unidade da Federação:

Informe o número de pessoas, do quadro da empresa, normalmente ocupadas nas atividades de P&D em 2014, segundo o nível de qualificação e o tempo de dedicação a estas atividades.

Ocupação segundo nível de qualificação	Número de pessoas em dedicação exclusiva	Número de pessoas em dedicação parcial	Percentual médio de dedicação (apenas para as pessoas em dedicação parcial) %
<b>Pesquisadores</b>			
Doutores .....	46 <input type="text"/>	51 <input type="text"/>	56 <input type="text"/>
Mestres .....	47 <input type="text"/>	52 <input type="text"/>	57 <input type="text"/>
Graduados .....	48 <input type="text"/>	53 <input type="text"/>	58 <input type="text"/>
Nível médio ou fundamental .....	48.1 <input type="text"/>	53.1 <input type="text"/>	58.1 <input type="text"/>
<b>Técnicos</b>			
Graduados .....	49.1 <input type="text"/>	54.1 <input type="text"/>	59.1 <input type="text"/>
Nível médio ou fundamental .....	49.2 <input type="text"/>	54.2 <input type="text"/>	59.2 <input type="text"/>
<b>Auxiliares</b>			
Outros trabalhadores de suporte, como de escritório, etc. ....	50 <input type="text"/>	55 <input type="text"/>	60 <input type="text"/>

60.2 - Sobre o total de pessoas ocupadas como **pesquisadores**, informe o percentual de mulheres **pesquisadoras** em 2014  %

### Impactos das inovações

Distribua percentualmente o valor das vendas e das exportações de 2014, segundo o grau de novidade das inovações de produto (bem ou serviço), implementadas entre 2012 e 2014

Produtos	Vendas líquidas Internas	Exportações
Produto novo ou significativamente aprimorado para a empresa, mas já existente no mercado nacional .....	85 <input type="text"/> %	89 <input type="text"/> %
Produto novo ou significativamente aprimorado para o mercado nacional, mas já existente no mercado mundial .....	86 <input type="text"/> %	90 <input type="text"/> %
Produto novo para o mercado mundial .....	87 <input type="text"/> %	91 <input type="text"/> %
Produtos que não foram alterados ou foram modificados apenas marginalmente .....	88 <input type="text"/> %	92 <input type="text"/> %
Total .....	100%	100%

Indique a importância dos impactos das inovações de produto (bem ou serviço) e processo, implementadas durante o período entre 2012 e 2014.

Impactos	Importância			
	Alta	Média	Baixa	Não relevante
<b>Produto</b>				
93 - Melhorou a qualidade dos bens ou serviços .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
94 - Ampliou a gama de bens ou serviços ofertados .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Mercado</b>				
95 - Permitiu manter a participação da empresa no mercado .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
96 - Ampliou a participação da empresa no mercado .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
97 - Permitiu abrir novos mercados .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Processo</b>				
98 - Aumentou a capacidade de produção ou de prestação de serviços .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
99 - Aumentou a flexibilidade da produção ou da prestação de serviços .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
100 - Reduziu os custos de produção ou dos serviços prestados .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
101 - Reduziu os custos do trabalho .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
102 - Reduziu o consumo de matérias-primas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
103 - Reduziu o consumo de energia .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
104 - Reduziu o consumo de água .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Outros impactos</b>				
105 - Permitiu reduzir o impacto sobre o meio ambiente .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
106 - Permitiu controlar aspectos ligados à saúde e segurança .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
107 - Enquadramento em regulações e normas padrão relativas ao mercado interno ou externo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Fontes de informação				
Indique a importância atribuída a cada categoria de fonte de informação empregada entre 2012 e 2014, para o desenvolvimento de produtos (bens ou serviços) e/ou processos novos ou substancialmente aprimorados.				
Fontes	Importância			
	Alta	Média	Baixa	Não relevante
<b>Fontes internas à empresa</b>				
108 - Departamento de P&D .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
109 - Outros .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Fontes externas à empresa</b>				
110 - Outra empresa do grupo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
111 - Fornecedores de máquinas, equipamentos, materiais, componentes ou <i>softwares</i> .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
112 - Clientes ou consumidores .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
113 - Concorrentes .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
114 - Empresas de consultoria e consultores independentes .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Centros educacionais e de pesquisa</b>				
115 - Universidades ou outros centros de ensino superior .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
116 - Institutos de pesquisa ou centros tecnológicos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
117 - Centros de capacitação profissional e assistência técnica .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
118 - Instituições de testes, ensaios e certificações .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Outras fontes de informação</b>				
119 - Conferências, encontros e publicações especializadas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
120 - Feiras e exposições .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
121 - Redes de informações informatizadas (Internet, Extranet, Intranet, etc.) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Qual a localização da fonte de informação, para cada categoria de fonte empregada entre 2012 e 2014? Se assinalado no Brasil (1) e no Exterior (2), descreva na coluna "principal" o número correspondente à localização da principal fonte de informação.				
Fontes	Localização			
	Brasil (1)	Exterior (2)	Principal	
<b>Fontes externas à empresa</b>				
122 - Outra empresa do grupo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
123 - Fornecedores de máquinas, equipamentos, materiais, componentes ou <i>softwares</i> .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
124 - Clientes ou consumidores .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
125 - Concorrentes .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
126 - Empresas de consultoria e consultores independentes .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Centros educacionais e de pesquisa</b>				
127 - Universidades ou outros centros de ensino superior .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
128 - Institutos de pesquisa ou centros tecnológicos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
129 - Centros de capacitação profissional e assistência técnica .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
130 - Instituições de testes, ensaios e certificações .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Outras fontes de informação</b>				
131 - Conferências, encontros e publicações especializadas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
132 - Feiras e exposições .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
133 - Redes de informações informatizadas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

### Cooperação

**Cooperação para inovação** significa a participação ativa em projetos conjuntos de P&D e outros projetos de inovação com outra organização (empresa ou instituição). Isto não implica, necessariamente, que as partes envolvidas obtêm benefícios comerciais imediatos. A simples contratação de serviços de outra organização, sem a sua colaboração ativa, não é considerada cooperação.

134 - Entre 2012 e 2014, a empresa esteve envolvida em arranjos cooperativos com outra (s) organização (ões) com vistas a desenvolver atividades inovativas?

1  Sim                      2  Não

Indique a importância de cada categoria de parceiro e a sua localização. Se assinalada mais de uma localização, descreva na coluna "principal" o número correspondente à localização do principal parceiro.

Parceiro	Importância				Localização							
	Alta	Média	Baixa	Não relevante	Mesmo estado (1)	Brasil (outros estados) (2)	Mercosul (3)	Estados Unidos (4)	Europa (5)	Outros países (6)	Principal (7)	
Clientes ou consumidores .....	135	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	142	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Fornecedores .....	136	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	143	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Concorrentes .....	137	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	144	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Outra empresa do grupo .....	138	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	145	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Empresas de consultoria .....	139	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	146	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Universidades ou institutos de pesquisa .....	140	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	147	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Centros de capacitação profissional e assistência técnica .....	141	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	148	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Instituições de testes, ensaios e certificações .....	141.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	148.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Para as categorias de parceiro que manteve cooperação, indique o objeto da cooperação estabelecida.

Parceiro	Objeto da cooperação					
	P&D	Assistência técnica	Treinamento	Desenho industrial	Ensaio para teste de produto	Outras atividades de cooperação
149 - Clientes ou consumidores .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
150 - Fornecedores .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
151 - Concorrentes .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
152 - Outra empresa do grupo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
153 - Empresas de consultoria .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
154 - Universidades e institutos de pesquisa .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
155 - Centros de capacitação profissional e assistência técnica .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
155.1 - Instituições de testes, ensaios e certificações .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Apoio do governo		
Entre 2012 e 2014, a empresa utilizou algum dos programas, relacionados a seguir, de apoio do governo para as suas atividades inovativas?	1 - Sim	2 - Não
156 - Incentivos fiscais à P&D e inovação tecnológica (Lei nº 8.661 e Cap. III da Lei nº 11.196) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
157 - Incentivo fiscal Lei de Informática (Lei nº 10.664, Lei nº 11.077) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
157.1 - Subvenção econômica à P&D e à inserção de pesquisadores (Lei nº 10.973 e Art. 21 da Lei nº 11.196) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
158 - Financiamento a projetos de P&D e inovação tecnológica:		
1 - Sem parceria com universidades ou institutos de pesquisa .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 - Em parceria com universidades ou institutos de pesquisa .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
159 - Financiamento exclusivo para a compra de máquinas e equipamentos utilizados para inovar .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
160 - Bolsas oferecidas pelas fundações de amparo à pesquisa e RHAE/ CNPq para pesquisadores em empresas .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
161 - Aporte de capital de risco .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
161.1 - Compras públicas (contrato de aquisição, junto a empresas, de bens ou serviços inovadores, por parte do Setor Público, incluindo Órgãos da Administração Direta, Fundações, Autarquias, Sistema «S» e Empresas Estatais; e excluindo ONG's) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
162 - Outros (favor especificar) .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		

Métodos de proteção estratégicos (não formais)		
Entre 2012 e 2014, a empresa utilizou algum dos métodos, descritos a seguir, para proteger as inovações de produtos e/ou processo desenvolvidas?	1 - Sim	2 - Não
168 - Complexidade no desenho do produto .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
169 - Segredo industrial .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
170 - Tempo de liderança sobre os competidores .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
171 - Outros (favor descrever abaixo): .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		

Problemas e obstáculos à inovação	
Para as empresas que <b>desenvolveram</b> algum projeto entre 2012 e 2014	
174 - No período entre 2012 e 2014, a empresa encontrou dificuldades ou obstáculos que podem ter tornado mais lenta a implementação de determinados projetos ou que os tenha inviabilizado?	
1	<input type="checkbox"/> Sim
2	<input type="checkbox"/> Não

<b>ATENÇÃO!</b>	
Se a resposta for Não, passe para o bloco "Inovações organizacionais e de marketing", questão 188. Se a resposta for Sim, passe para a questão 176	
Para as empresas que <b>NÃO desenvolveram</b> algum projeto entre 2012 e 2014	
175 - Qual das razões, listadas a seguir, justifica o fato da empresa não ter realizado nenhuma atividade inovativa durante o período entre 2012 e 2014?	
1	<input type="checkbox"/> Não necessitou, devido às inovações prévias
2	<input type="checkbox"/> Não necessitou, devido às condições de mercado
3	<input type="checkbox"/> Outros fatores impediram o desenvolvimento, implementação de inovação

**ATENÇÃO!**

Caso tenha assinalado 3, passe para a questão 176.  
Caso contrário, passe para o bloco "Inovações organizacionais e de marketing", questão 188.

Assinale a importância dos fatores que prejudicaram as atividades inovativas da empresa.

Fatores	Importância			
	Alta	Média	Baixa	Não relevante
176 - Riscos econômicos excessivos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
177 - Elevados custos da inovação .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
178 - Escassez de fontes apropriadas de financiamento .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
179 - Rigidez organizacional .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
180 - Falta de pessoal qualificado .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
181 - Falta de informação sobre tecnologia .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
182 - Falta de informação sobre mercados .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
183 - Escassas possibilidades de cooperação com outras empresas/instituições .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
184 - Dificuldade para se adequar a padrões, normas e regulamentações .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
185 - Fraca resposta dos consumidores quanto a novos produtos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
186 - Escassez de serviços técnicos externos adequados .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
187 - Centralização da atividade inovativa em outra empresa do grupo .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Inovações organizacionais e de marketing**

**Inovação organizacional** compreende a implementação de novas técnicas de gestão ou de significativas mudanças na organização do trabalho e nas relações externas da empresa, com vistas a melhorar o uso do conhecimento, a eficiência dos fluxos de trabalho ou a qualidade dos bens ou serviços. Deve ser resultado de decisões estratégicas tomadas pela direção e constituir novidade organizativa para a empresa.

**Não são incluídas:** fusões e aquisições, mesmo sendo a primeira vez.

**Inovação de marketing** é a implementação de novas estratégias ou conceitos de marketing que diferem significativamente dos usados previamente pela empresa. Supõe mudanças significativas no desenho ou embalagem do produto, nos seus canais de venda, em sua promoção ou na fixação de preços, sem modificar as características funcionais ou de uso do produto. Visam abrir novos mercados ou reposicionar o produto no mercado.

**Não são incluídas:** as mudanças regulares ou similares nos métodos de marketing.

Durante o período entre 2012 e 2014, a empresa implementou alguma das atividades relacionadas a seguir? 1 - Sim 2 - Não

188 - Novas técnicas de gestão para melhorar rotinas e práticas de trabalho, assim como o uso e a troca de informações, de conhecimento e habilidades dentro da empresa. Por exemplo: re-engenharia dos processos de negócio, gestão do conhecimento, controle da qualidade total, sistemas de formação/treinamento, SIG (sistemas de informações gerenciais), ERP (planejamento dos recursos do negócio), etc. ....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
189 - Novas técnicas de gestão ambiental para tratamento de efluentes, redução de resíduos, de CO <sub>2</sub> , etc .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
190 - Novos métodos de organização do trabalho para melhor distribuir responsabilidades e poder de decisão, como por exemplo o estabelecimento do trabalho em equipe, a descentralização ou integração de departamentos, etc. ....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
190.1 - Mudanças significativas nas relações com outras empresas ou instituições públicas e sem fins lucrativos, tais como o estabelecimento pela primeira vez de alianças, parcerias, terceirização ou sub-contratação de atividades. ....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
191 - Mudanças significativas nos conceitos/estratégias de marketing, como por exemplo novas mídias ou técnicas para a promoção de produtos; novas formas para colocação de produtos no mercado ou canais de venda; ou novos métodos de fixação de preços para a comercialização de bens e serviços .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
192 - Mudanças significativas na estética, desenho ou outras mudanças subjetivas em pelo menos um dos produtos .....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Uso da biotecnologia e da nanotecnologia**

**A Biotecnologia** é a aplicação da ciência e da tecnologia aos organismos vivos, assim como à suas partes, produtos ou modelos, para alterar o material vivo ou inerte, com a finalidade de produzir conhecimentos, bens e/ou serviços.

193 - Em 2014, a sua empresa realizou alguma atividade que empregou ou continha células vivas (leveduras, bactérias, cultura de tecidos) ou alguma de suas partes ativas (proteínas, enzimas, moléculas biológicas)?

1  Sim 2  Não

Em caso afirmativo, assinale abaixo a(s) categoria(s) que melhor expressa(m) o modo de uso de biotecnologia na sua empresa (admite múltiplas respostas).

193.1 <input type="checkbox"/>	Usuário final (simples compra ou aquisição de produto acabado que emprega biotecnologia)
193.2 <input type="checkbox"/>	Usuário integrador de insumo(s) ou processo(s) biotecnológicos
193.3 <input type="checkbox"/>	Produtor de insumo(s), produto(s) ou processo(s) biotecnológicos
193.4 <input type="checkbox"/>	Pesquisa e Desenvolvimento de produto(s), insumo(s) ou processo(s) biotecnológicos - neste caso, técnicas de biotecnologia são estudadas (pesquisa básica ou aplicada) e/ou desenvolvidas (desenvolvimento experimental)

**A Nanotecnologia** é um conjunto de técnicas usadas para manipular a matéria até os limites do átomo, com vistas a incorporar materiais nano-estruturados ou nanopartículas em produtos existentes para melhorar seu desempenho, ou criar novos materiais e desenvolver novos produtos.

195 - Em 2014 a sua empresa realizou alguma atividade (produção, P&D) relacionada com a nanotecnologia?

1  Sim                      2  Não

Em caso afirmativo, assinale abaixo a(s) categoria(s) que melhor expressa(m) o modo de uso de biotecnologia na sua empresa (admite múltiplas respostas).

- 195.1  Usuário final (simples compra ou aquisição de produto acabado que emprega nanotecnologia)
- 195.2  Usuário integrador de insumo(s) ou processo(s) nanotecnológicos
- 195.3  Produtor de insumo(s), produto(s) ou processo(s) nanotecnológicos
- 195.4  Pesquisa e Desenvolvimento de produto(s), insumo(s) ou processo(s) nanotecnológicos - neste caso, técnicas de biotecnologia são estudadas (pesquisa básica ou aplicada) e/ou desenvolvidas (desenvolvimento experimental)

### Observações

## CAPÍTULO 4

### CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve o objetivo de estudar, por meio de duas vertentes distintas, os aspectos da sustentabilidade ambiental, dando ênfase a fatores econômicos, institucionais, técnicos e inovativos, e suas relações com o meio ambiente, usando diferentes abordagens metodológicas em dois objetos de estudo: nações e empresas. O primeiro eixo de pesquisa buscou mensurar, por meio da análise envoltória de dados e suas extensões, as eficiências unificadas (produtiva e ambiental) dos países, e tipificá-los segundo os níveis de ecoeficiência, considerando a possibilidade de congestionamentos e a evolução temporal destas eficiências. Já a segunda temática proposta procurou analisar, econometricamente, os determinantes daecoinovação na atual estrutura industrial brasileira.

Em uma análise conjunta do trabalho, observou-se que há espaço para ganhos ambientais sem prejuízo à competitividade e ao crescimento econômico. O desenvolvimento de ecotecnologias e, conseqüentemente, ecoinovações seria a alternativa para que empresas e nações promovessem resultados consistentes na redução dos danos ambientais provenientes das atividades produtivas.

Para o primeiro ensaio, pode-se inferir a possibilidade de reduções consideráveis nas emissões de gases poluidores caso os países fossem projetados para a fronteira de eficiência, independentemente do nível de desenvolvimento do país ou mesmo de sua localização geográfica. Constatou-se, ainda, que os países precisam se adequar à nova realidade global e buscar alternativas para o desenvolvimento de tecnologias limpas que possibilitariam a presença de congestionamentos desejáveis na produção nacional, auferindo resultados positivos em busca da sustentabilidade econômica e ambiental. Essa adequação deve ser imediata, visto o hiato presente entre o acelerado resultado negativo das mudanças climáticas e a tímida evolução temporal da ecoeficiência das nações estudadas.

Nesse contexto, sugere-se a formação de fundos globais de financiamentos de adoção e difusão de ecotecnologias, a fim de que países mais ricos financiem nações mais pobres nas políticas globais de mitigação dos efeitos das alterações climáticas. Contudo, o principal problema da ecoeficiência refere-se à ineficiência de escala das nações mais ricas e mais poluidoras, que também deveriam se comprometer na gestão de estratégias ambientalmente eficientes, visto que possuem recursos financeiros e humanos para o desenvolvimento de ecotecnologias.

Especificamente para o segundo ensaio, constatou-se que a adoção deecoinovações é setorialmente heterogênea, dependendo, dessa forma, tanto das características dos setores quanto das firmas. Tal resultado indica que políticas de incentivo e regulação devem considerar a diversidade das estruturas produtivas, fornecendo financiamento, capacitação e tecnologias que abarquem estratégias ambientais. O fortalecimento de ações de P&D, os investimentos públicos tanto no financiamento de pesquisas quanto na difusão de estratégias ecoinovativas, a maior relação entre instituições de pesquisa e ensino com as empresas e instrumentos regulatórios específicos podem direcionar a um setor industrial em que a ecoinovação seja uma realidade. Ademais, os resultados indicam que pode haver um descompasso entre a formação acadêmica de profissionais e a realidade do mercado, o que afeta tanto o aspecto produtivo quanto a gestão ambiental das empresas.

Apesar dos resultados proporem respostas interessantes ao desenvolvimento das políticas de mitigação das mudanças climáticas nacional e global, alguns aspectos limitadores devem ser sanados para que as estratégias aqui esboçadas façam parte efetivamente dos esforços globais de sustentabilidade ambiental.

Cita-se, nesse sentido, as bases de dados utilizadas, que, apesar de apresentarem respostas consistentes e adequadas ao proposto na pesquisa, requerem adaptações e ampliações, a fim de alcançar todo o objeto de estudo, seja ele países ou empresas. A ausência de dados de diversos países e a inconsistência de algumas informações na base do Banco Mundial, impediram a realização da pesquisa com um número maior de DMUs, no caso do ensaio sobre ecoeficiência das nações. Por sua vez, no caso da PINTEC para as empresas brasileiras, há um volume grande de questões não respondidas ou inconsistentes, o que também limita a amostra. Ademais, sugere-se que a PINTEC amplie e especifique os questionamentos sobre a adoção de ecoinovações e seus determinantes, caracterizando seus tipos e estabelecendo um conjunto de dados mais realístico da ecoinovação na indústria brasileira.

Por fim, acredita-se que este trabalho possa contribuir para o debate sobre ecoeficiência e ecoinovação, ao propor novas metodologias de análise, novos conjuntos de dados e, como respostas, estratégias que promovam a sustentabilidade ambiental. Sugestões de trabalhos futuros englobam análises setoriais de ecoeficiência das nações, a análise de fatores conjunturais dos países ineficientes ambientalmente, estudos longitudinais dos determinantes da ecoinovação, bem como evoluções metodológicas e de base de dados.