

Programa de Pós-graduação em Economia – Universidade Federal do Pará

CADERNOS
CEPEC
ECONOMIA DA AMAZÔNIA



A EFICIÊNCIA DO SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO (SNI) PARA AS 50 MAIORES ECONOMIAS GLOBAIS: Uma Abordagem utilizando Fronteira Estocástica de Produção (SFA)

THE EFFICIENCY OF THE NATIONAL INNOVATION SYSTEM (SNI) FOR THE 50 LARGEST ECONOMIES: An Approach Using Stochastic Production Frontier (SFA)

Carlos Eduardo Martins ¹Leandro Almeida ²

Resumo

O objetivo desse artigo foi o de analisar e determinar a eficiência técnica para os SNIs das 50 maiores economias utilizando a metodologia adaptada de Ratner, Balashova e Lychev (2022). Bem como determinar as principais variáveis para a compreensão do funcionamento dos SNI analisados. As análises de eficiência técnica serão realizadas através do modelo de fronteira de produção estocástica desenvolvida pioneiramente por Aigner e Chu (1968), e depois por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Battese e Corra (1977). A base de dados para a análise foi extraída do banco de dados do Banco Mundial. Os principais resultados apontaram para um alto grau de ineficiência entre os sistemas de inovação. As variáveis ligadas a despesas com P&D, pessoal empregado em P&D (pesquisadores e técnicos), exportações de alta tecnologia e direito de propriedade foram importantes para explicar o funcionamento dos sistemas nacionais de inovação das 50 maiores economias analisadas.

Palavras-chave: Sistema Nacional de Inovação. Eficiência. Inovação.

Classificação JEL: O30, O31, O32.

Abstract

The objective of this article was to analyze and determine the technical efficiency for the SNIs of the 50 largest economies using the methodology adapted from Ratner, Balashova and Lychev (2022). As well as determining the main variables for understanding the functioning of the NIS analyzed. The technical efficiency analyzes will be carried out using the stochastic production frontier model pioneered by Aigner and Chu (1968), and later by Aigner, Lovell and Schmidt (1977) and Battese and Corra (1977). The database for the analysis was extracted from the World Bank database. The main results point to a high degree of inefficiency among innovation systems. Variables linked to R&D expenditures, personnel employed in R&D (researchers and technicians), high technology exports and property rights were important in explaining the functioning of the national innovation systems of the 50 largest economies analyzed.

Keywords: National Innovation System. Efficiency. Innovation.

JEL Classification: O30, O31, O32.

¹ Economista, Professor da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Pará. E-mail: kadumartins91@gmail.com.

² Doutor em Desenvolvimento Socioambiental pelo Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA) da Universidade Federal do Pará (2015). Professor da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Pará. E-mail: lmorais@ufpa.br.

1. INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância do conhecimento e da inovação para o crescimento, bem como para o desenvolvimento socioeconômico de um país (TIGRE, 2006). Assim, considera-se que, os investimentos na produção e disseminação de conhecimentos e inovações, considerados “intangíveis”, são fundamentais e mostram-se capazes de explicar as grandes disparidades no desenvolvimento de diversas nações. Essas atividades direcionadas à produção e à distribuição desses conhecimentos respondem especialmente nas economias avançadas, por parcelas crescentes do emprego e da renda, enquanto os investimentos em máquinas, prédios e outros bens materiais vêm perdendo progressivamente sua importância relativa (BARROS *et al.*, 2007).

Para Cassiolato e Lastres (2017), a capacidade na geração e na difusão inovativa é o elemento mais estratégico na nova ordem mundial imposta aos países, principalmente aos em desenvolvimento. Segundo os autores, os elementos centrais de tal importância sobre a inovação estão ligados a: a) Capacidade que ela possui de agregar valor, qualidade e funcionalidade a bens e serviços produzidos, além de ampliar a competitividade das organizações, localidades e países; b) O reconhecimento de que o dinamismo da produtividade não se restringe a uma única organização ou um único setor, estando mais fortemente ligada a diferentes atividades e capacidades; c) As atividades inovativas diferem temporal e espacialmente, apresentando, com isso, diferentes aspectos na aplicação de políticas públicas. Esse processo de geração e de difusão inovativa depende, essencialmente, de organizações e instituições, suas cadeias e complexos produtivos e, também, dos demais atores não econômicos que são responsáveis pelo uso e disseminação de conhecimento e das capacitações que compõem os diferentes sistemas produtivos e os ambientes onde estão inseridos (CASSILATO e LASTRES, 2017).

A formação de um ambiente que favoreça as instituições públicas e privadas em gerar, aplicar, disseminar e compartilhar o conhecimento científico produzido é, mais além, a capacidade de transformar esse conhecimento em inovação tecnológica, e neste ambiente de conhecimento compartilhado se torna imperativo a formação de uma estrutura institucional que apoia a inovação em todos os seus aspectos. É neste principal argumento que podemos, analisando o contexto internacional, diferenciar países desenvolvidos com alto grau de sofisticação tecnológica e com produção estritamente voltada para elaboração

de produtos com alto grau de complexidade e de sofisticação tecnológica (aviões, carros, microcomputadores, celulares, remédios, etc) de países em desenvolvimento com baixo grau de complexidade produtiva, com pauta de exportação estritamente ligada a produtos primários (GALA, 2017).

Neste sentido, o objetivo principal deste artigo será o de analisar e determinar a eficiência técnica para os Sistemas Nacionais Inovação (SNI) das 50 maiores economias utilizando a metodologia adaptada de Ratner, Balashova e Lychev (2022). Buscasse, então, verificar qual a importância do conjunto de variáveis observadas para o funcionamento dos sistemas de inovação dos países estudados. O trabalho, também, busca medir e ranquear os países de acordo com seu grau de ineficiência técnica gerada.

A análise de eficiência técnica foi realizada através do modelo de fronteira de produção estocástica desenvolvida pioneiramente por Aigner e Chu (1968), e depois por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Battese e Corra (1977). Então, a contribuição essencial deste artigo será a utilização de um modelo econométrico diferenciado do utilizado por Ratner, Balashova e Lychev (2022), além de utilizar a base de dados referente às 50 maiores economias atuais globais.

Sendo assim, o artigo encontra-se dividido em mais três partes, além desta introdução. Na seguinte, será analisado o referencial teórico referente aos SNI e, posteriormente, ao modelo e análise de resultados encontrados e finalizando com as conclusões encontradas.

2. SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO

De acordo com Freeman (1995), o precursor na elaboração do conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) foi Bengt-Ake Lundvall em um artigo publicado na quinta parte do livro com edição de Dosi et al. (1988) “Technical Change and Economic Theory”. Segundo Edquist (2005), o primeiro a utilizar o termo foi Freeman (1987). Entretanto, ambos os autores (Freeman e Lundvall) são categóricos em pontuar que as ideias e concepções originais do conceito são de Georg Friedrich List em 1841. De acordo com Bogang, Gerybadze e Kim (2016), o principal ponto de aproximação entre Friedrich List e os SNI está no papel de coordenação na interação sistemática entre invenção, pesquisa, tecnologia,

aprendizado e inovação e o papel do Estado no direcionamento e articulação dentro do SNI.

Com relação a aspectos conceituais, originalmente, segundo Lundvall (1992), um SNI é constituído por elementos e relacionamentos que interagem na produção, difusão e uso de novos e economicamente úteis conhecimentos e que um esse sistema engloba elementos e relacionamentos localizados dentro ou enraizados dentro das fronteiras de um Estado Nação. De acordo com o autor, existem dois conceitos fundamentais sobre SNI: um estrito e outro mais amplo. No sentido estrito, o conceito de SNI incluiria um conjunto de atores que incluiria organizações e instituições envolvidas na busca e exploração do processo de inovação (Departamentos de P&D, Institutos tecnológicos e universidades). Já no sentido amplo, incluiria os agentes citados acima bem como os aspectos e estruturas e a configuração institucional que afetam a aprendizagem de forma geral (o sistema de produção, o sistema de marketing e o sistema financeiro. Esses últimos classificam-se como subsistemas onde o aprendizado interativo ocorre e evolui.

Para Patel e Pavitt (1994), um SNI seria um conglomerado de instituições nacionais, suas estruturas de incentivo e suas competências, que determinam a taxa e a direção da aprendizagem tecnológica (ou o volume e composição de atividades geradoras de mudanças em um país. Entretanto, de acordo com os autores, cada país deve identificar as principais instituições, os incentivos e as competências relevantes para o desenvolvimento do seu SNI. Neste sentido, o processo de amadurecimento e consolidação dos SNI de cada país deverá, explicitamente, apresentar características distintas e atores ou agentes distintos e similaridades entre os agentes citados.

Os incentivos e as competências estão estritamente relacionados ao aprendizado tecnológico dos atores dentro do SNI. O apoio do governo à pesquisa básica, as atividades de treinamento intrafirma, o difícil equilíbrio existente entre os incentivos de ganhos econômicos decorrentes do monopólio temporário para a inovação e a pressão da concorrência pela imitação são pontuados como importantes incentivos ao desenvolvimento. No mesmo sentido, a diferença observada entre o desenvolvimento econômico e tecnológico de muitas nações está explicitado nas lacunas internacionais de tecnologia, em outras palavras, essas disparidades estão ligadas às competências tecnológicas resultante ao volume e padrão setorial de P&D e atividades relacionadas (PATEL e PAVITT, 1994).

A compreensão do SNI “consiste em conjunto de instituições, atores e mecanismos

que contribui para a criação, avanço e difusão das inovações tecnológicas de um país”. Assim, destaca-se nesta avaliação, a vivência de um grupo articulado de instituições dos setores públicos e privados constituídos por: agências de fomentos e financiamento, instituições financeiras, empresas públicas e privadas, universidades e laboratórios de pesquisa e desenvolvimento, leis de propriedade intelectual e muito mais; todo esse grupo completa uma cadeia sistêmica que direciona investimentos para inovação tecnológica (FREEMAN, 2008).

Para Cimoli (2014), o SNI seria um conjunto de instituições que contribuem em conjunto e individualmente para o desenvolvimento de novas tecnologias e que fornecem o quadro em que o governo forma e implementa políticas para influenciar e dinamizar o processo de inovação. As instituições que compõem o SNI (empresas privadas, universidades e outras instituições educacionais, laboratórios de pesquisa pública, consultorias privadas, sociedades profissionais e associação de pesquisa industrial) e as políticas de ciência e tecnologia são as principais variáveis na explicação das diferenças de desenvolvimentos dos SNI de países desenvolvimento para os SNI de países em desenvolvimento.

Segundo Albuquerque (1996), um SNI é uma construção institucional, produto de uma ação planejada e consciente ou de um somatório de decisões não-planejadas e desarticuladas, que impulsionam o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas. Esses arranjos institucionais envolvem as firmas, as redes de interação entre empresas, as ações governamentais, as universidades, os institutos de pesquisas, laboratórios de empresas, atividades de cientistas e engenheiros que se articulam com o sistema educacional, com o setor industrial e o empresarial e, também, com as instituições financeiras, completando o circuito dos agentes que são responsáveis pela geração, implementação e difusão das inovações.

Essa construção institucional e a diversidade de atores e arranjos que configuram o SNI é enorme. Essas diversidades podem ser observadas e diferenciadas através das características distintas de cada SNI, tais como: as especificidades das firmas inovadoras, a relação dessas firmas com as instituições de pesquisa, o peso dedicado à ciência básica, o papel do governo na articulação e incentivo das instituições dos sistemas, o papel das pequenas firmas dinâmicas, os diferentes arranjos do sistema financeiro, o nível da formação profissional dos trabalhadores, dentre outros (ALBUQUERQUE, 1996; ALBUQUERQUE e

SICISÚ, 2000).

Além disso, a construção institucional e o entendimento das conexões existentes dentro das interações dos agentes do SNI são caminhos diretos para a construção de um SNI (METCALFE e RAMLOGAN, 2008). Segundo os autores, os SNI não ocorrem naturalmente, se auto-organizam para reunir novos conhecimentos e os recursos para a exploração do conhecimento adquirido. Os SNI são fenômenos emergentes, criados para um propósito específico, que poderão mudar e adaptar seu conteúdo e o padrão de conexão à medida que uma sequência de problemas evolui. Além disso, uma vez que a solução de um problema gera diferentes e específicos novos problemas, ocorre, por conseguinte, a evolução e o dinamismo dos atores e o padrão de conexões dentro do SNI.

Para Cassiolato e Lastres (2000), os sistemas de inovação têm sido muitas vezes confundidos com clusters, adotando-se uma visão estática sobre ele. No entanto, a visão de cluster baseada em setor não captura situações nas quais as fronteiras das indústrias se encontram em mutação. Assim, de uma perspectiva dinâmica, os setores industriais devem ser considerados sistemas mais amplos e em contínua mutação, baseados em conjuntos de tecnologias e soluções. Nesse contexto, a competitividade das nações e empresas compreende a construção de um SNI em que há organizações gerando conhecimentos, P&D, laboratórios governamentais e privados.

Na visão da OCDE (2005), a abordagem de SNI muda o foco de política em direção a uma ênfase na interação das instituições e nos processos de criação de conhecimento, bem como em sua difusão e aplicação. Por meio da publicação da terceira edição do Manual de Oslo, a OCDE (2005) considera que um “sistema nacional de inovação” foi criado para representar esse conjunto de instituições e esses fluxos de conhecimentos, bem como, políticas macroeconômica e de regulação, infraestrutura de comunicação, dentre outros.

Com relação a análise empírica de avaliação dos sistemas de inovação e utilização de modelos de medição de eficiência técnica são abrangentes e apresentam variadas base de dados e resultados. A partir daqui, destacamos alguns textos com a utilização de análise Envoltória de Dados (DEA) e Fronteira estocástica de produção (FEP).

Zabala-Iturriagoitia et al., (2007) utilizaram a A (DEA) para a avaliação do desempenho dos Sistemas Regionais de Inovação das regiões europeias com base nos dados do Painel Europeu da Inovação (EIS) para os anos de 2002 e 2003. Os principais resultados

destacaram que quanto maior o nível tecnológico de uma região, maior a necessidade de coordenação do sistema. Onde isso não existe, há uma maior perda de eficiência de desempenho. Territórios com menor capacidade de absorção e menos recursos adotam o conhecimento incorporado e as inovações de outros, o que é menos arriscado e envolve menores níveis de desenvolvimento.

Chen e Guan (2012) mensuraram a eficiência dos sistemas regionais de inovação da China utilizando a análise envoltória de dados (DEA). Os autores decompueram o processo de inovação em subprocessos de conexão, desenvolvimento tecnológico e comercialização tecnológica. Os resultados mostram que apenas um quinto dos sistemas regionais de inovação da China estão operando na fronteira empírica de melhores práticas durante todo o processo, desde o desenvolvimento tecnológico até a comercialização. Além disso, verifica-se que existem inconsistências substanciais entre a capacidade de desenvolvimento tecnológico e a capacidade de comercialização na maioria dos sistemas regionais de inovação, e que a capacidade de comercialização, a jusante desempenha um papel mais importante no desempenho de inovação dos sistemas regionais de inovação.

Já Hu, Yang e Chen (2014) aplicaram a abordagem da função distância para estimar a eficiência nacional de P&D através da inclusão de múltiplas saídas de P&D em sua abordagem de fronteira estocástica. Os autores utilizaram um conjunto de dados em painel de 24 nações de 1998 a 2005, este estudo estimou simultaneamente a função de distância translog e os determinantes da eficiência nacional de P&D, especialmente para o papel dos NIS. Como principais resultados do trabalho, os autores que a eficiência média de P&D manifestou-se como uma magnitude relativamente estável entre 0,8673 e 0,9531, indicando que o potencial de melhoria varia de 4,69% a 13,27%. Verificou-se também que as disparidades na eficiência de I&D entre a Ásia e a Europa, bem como entre a Ásia e as Américas, são reduzidas após a tomada em consideração dos fatores do sistema de inovação. Para as nações asiáticas, isso destaca a importância dos sistemas de inovação em termos de facilitar suas atividades de P&D e sugere que um SNI saudável e que funcione bem pode servir como uma estratégia chave para a recuperação tecnológica.

Matei e Aldea (2012) mediram e compararam o desempenho dos SNI disponíveis na base de dados IUS 2011. Para cumprir este propósito, as variáveis que descrevem o processo de inovação incluídas nesta base de dados são utilizadas para estimar a eficiência técnica dos

Estados-Membros da União Europeia, bem como da Croácia, Islândia, Noruega, Suíça e Turquia. Assim, a eficiência das unidades de decisão representadas pelos Sistemas Nacionais de Inovação é estimada por meio de um modelo de fronteira não paramétrico: a análise envoltória de dados (DEA). As principais conclusões destacam que os líderes de inovação também não são tecnicamente eficientes ao transformar insumos de inovação em resultados de inovação. Os países dos grupos de inovadores seguidores e inovadores moderados aparecem na primeira, segunda e terceira posição como os mais eficientes de nossa amostra. Estes países não poderão aumentar muito o nível dos seus produtos, dados os seus contributos para a inovação. Na situação oposta estão países como a Grécia, Portugal e Lituânia, que são muito ineficientes.

3. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TÉCNICA PARA AS 50 MAIORES ECONOMIAS

3.1 Base de dados e Variáveis Utilizadas

As variáveis para as estimações do modelo de fronteira estocástica estão descritas no Quadro 1 abaixo e estão baseadas no artigo de Ratner, Balashiva e Lychev (2022), intitulado “The Efficiency of National Innovation Countries: DEA-based Approach”. Os autores utilizaram 3 variáveis como *inputs* para as análises do SNI’s (Despesas com P&D, Pesquisadores em P&D e técnicos em P&D). Entretanto, nesse artigo utilizaremos a variável patente (descrição na tabela abaixo) para a análise e as demais variáveis do modelo de Ratner, Balashiva e Lychev (2022) como variáveis independentes. Assim, conseguiremos captar através do modelo de fronteira estocástica quais as variáveis importantes para a geração do processo inovativo nos SNI. Então, a diferenciação básica e a contribuição estão na explicação citada acima e na diferença básica do modelo utilizado e na base de dados referente as 50 maiores economias atuais³.

³ As 50 maiores economias foram extraídas utilizando o Produto Interno Bruto em dólares correntes para o ano de 2019. A extração dos dados ocorreu no site do Banco Mundial. Os países listados do maior para o menor foram: Estados Unidos, China, Japão, Alemanha, Reino Unido, Índia, França, Itália, Canadá, Coreia, Rússia, Brasil, Austrália, Espanha, México, Indonésia, Holanda, Suíça, Turquia, Arábia Saudita, Polônia, Suécia, Bélgica, Tailândia, Áustria, Nigéria, Irlanda, Israel, Argentina, Egito, Noruega, Filipinas, Emirados Árabes Unidos, Dinamarca, Singapura, Malásia, África do Sul, Bangladesh, Colômbia, Vietnã, Finlândia, Paquistão, Chile,

Quadro 1 – Variáveis utilizadas para as estimações do modelo de fronteira estocástica – ano 2019

Variáveis	Descrição	Unidade	Fonte	Tipo de Variável
Lnpatent	<i>Logaritmo natural da somatória das patentes de residentes e não residentes por país.</i>	Unidade	World Bank	Dependente
Lnresp&d	<i>Logaritmo natural das despesas em P&D</i>	% PIB	World Bank	Independente
Lnpesq&d	<i>Logaritmo natural do número de pesquisadores em P&D</i>	Por milhão de Habitantes	World Bank	Independente
Ln-tecp&d	<i>Logaritmo natural do número de técnicos em P&D</i>	Por milhão de Habitantes	World Bank	Independente
Lnpropintelp	<i>Logaritmo natural das cobranças pelo uso de propriedade intelectual, pagamentos. (proxy para garantia de propriedade)</i>	Dólares correntes (BoP)	World Bank	Independente
Lnpropintelr	<i>Logaritmo natural das cobranças pelo uso de propriedade intelectual, recebimentos. (proxy para garantia de propriedade)</i>	Dólares correntes (BoP)	World Bank	Independente
Lnexpman	<i>Logaritmo natural das exportações de alta tecnologia</i>	% manufaturados	World Bank	Independente
Lnexpalt	<i>Logaritmo natural das exportações de alta tecnologia</i>	% PIB	World Bank	Independente

Romênia, República Checa, Portugal, Nova Zelândia, Irã, Peru e Grécia. Para maiores informações: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.MKTP.CD>.

Fonte: Elaboração Própria.

3.1 Modelo de Eficiência Técnica

A fronteira de produção estocástica desenvolvida pioneiramente por Aigner & Chu (1968), e depois por Aigner, Lovell e Schmidt (1977), Battese & Corra (1977) e Meeusen & Van Den Broeck (1977) possuía como motivação a ideia de que o mecanismo da fronteira de produção pode não estar inteiramente sob o controle da unidade produtora estudada. Esse modelo deduziu a ineficiência técnica, mas acusou que os choques aleatórios fora de controle da unidade produtora podem afetar o produto.

O estudo da fronteira estocástica pressupõe a definição *a priori* de uma forma funcional para representar a função de produção. No intuito de justificar as escolhas da função de produção foi realizado um teste estatístico para escolhas da forma funcional utilizada para a função. Especificamente, o teste refere-se à adequação da forma funcional translog relativamente à forma funcional mais restritiva Cobb-Douglas. Assim, testa-se a hipótese de que todos os coeficientes de segunda ordem e os coeficientes dos produtos cruzados são todos iguais a zero na especificação translog. De acordo com os resultados a função de produção mais adequada foi a *Cobb-Douglas*⁴.

Uma formulação apropriada de uma fronteira de produção estocástica em termos de uma forma funcional geral, segundo Khumbakhar e Lovell (2000) é:

$$Y_i = f(x_i, \beta) + v_i - u_i = f(x_i, \beta) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Onde v_i é o componente de erro aleatório e u_i é o componente de ineficiência técnica. O termo de erro aleatório v_i é assumido ser independente e identicamente distribuído (i.i.d) com distribuição meio normal, e independente de u_i .

⁴ Os valores da razão de verossimilhança apresentaram-se inferiores ao valor crítico da estatística χ^2 , obtida na Tabela 1 de Kodde e Palm (1986, p. 1246).

Assim, o termo de erro composto é não simétrico, desde que $u_i \geq 0$ é dado por:

$$\varepsilon_i = v_i - u_i \quad (2)$$

Em que " ε_i " corresponde ao termo do erro composto, onde a variável v_{it} representa os distúrbios aleatórios da função de produção que, por hipótese, segue uma distribuição normal com média zero e variância constante e o termo u_{it} , representando a ineficiência técnica de produção, segue uma distribuição *half-normal*, com média zero e variância

Battese & Coelli (1995) propõem uma alternativa para a estimação da eficiência técnica dada acima. Segundo os autores, esse estimador seria mais consistente devido à variação associada com a distribuição de $(u_i|\varepsilon_i)$. Uma das vantagens da utilização da fronteira de produção estocástica reside na incorporação, além dos distúrbios aleatórios relativo à função de produção, de efeitos de ineficiência técnica ao contrário dos métodos não paramétricos, que atribuem à ineficiência técnica os desvios do produto observado em relação ao produto potencial. Além disto, o modelo consegue captar as variáveis determinantes de ineficiência técnica, bem como consegue-se ranquear por escore de eficiência e ineficiência técnica.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando o teste de razão de verossimilhança, ao qual consiste em experimentar a hipótese nula de $\gamma = 0$, contra a hipótese alternativa $\gamma > 0$, verificou-se a rejeição da hipótese nula de ausência de efeitos de ineficiência. Isto significa que a utilização da abordagem de fronteira estocástica para estimação das funções de produção para as regiões analisadas foi fundamental para o melhor ajustamento do modelo e uma estimação mais precisa de seus parâmetros para todos os países analisados. Pelos resultados verificamos que todas as variáveis foram estatisticamente significantes ao nível de 1% adotado.

A função de produção e as respectivas eficiências e ineficiências foram estimadas utilizando o modelo half-normal em detrimento do exponencial utilizando o software Stata 13.1. Os coeficientes das variáveis utilizadas nas estimações representam as elasticidades parciais e sua soma determina a elasticidade total dos fatores de produção que define o tipo de retorno de

escala de produção (Crescente, decrescente ou constante de escala) (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelo de Fronteira Estocástica para os países analisados

Variável dependente: Lnpatent				
Parâmetros/Variáveis	Coefficiente	Erro-Padrão	Estatísticas Z	P-Valor
Lndesp&d	1.072	0.279	3.830	(0.000)***
Lntecp&d	0,503	0.200	2.510	(0.000)***
Lnpsqp&d	0,569	0.234	2.545	(0.000)***
Lnexpman	0.605	0.324	1.870	(0.001)***
Lnexpalt	0.239	0.185	1.290	(0.006)***
Lnpropintelp	0.259	0.319	0.810	(0.001)***
Lnpropintelr	0.633	0.169	0.380	(0.0001)** *
Constante	0.304	4.790	0.940	(0.001)***
Sigma_v	1.730	0.173		
Sigma_u	0.310	1.948		
Sigma²	3.010	0.607		
Lambda (γ)	0.65			
Log Likelihood		-98.493		

Fonte: Elaboração Própria.

De acordo com os valores obtidos pela soma dos coeficientes, podemos afirmar que a função apresenta retornos crescentes de escala. Tal fato pode ser comprovado pela análise do coeficiente de ineficiência técnica " γ ", informando que 65% das variabilidades na produção de inovação advêm da ineficiência dentro dos países analisados. Analisando as variáveis do modelo, percebeu-se que todas as variáveis foram estatisticamente significantes a 1% e apresentaram sinais esperados de acordo com a literatura (NELSON e ROSENBERG, 1993; MOWERY e ROSENBERG, 1993; EDQUIST e LUNDEVALL, 1993; KIM e NELSON, 2005; DOSI, 1984; NEGRI e SALERMO, 2005; LUNDEVALL, 1992; FREEMAN, 1995; RATNER, BALASHIVA E LYCHEV (2022), dentre outros, mostrando a importância dessas variáveis na geração e disseminação do processo inovativo.

Com relação a variável ligada às despesas com P&D, de acordo com NELSON e ROSENBERG (1993), as despesas em P&D possuem ligação direta com o processo inovativo. Seja nas empresas ou nas despesas do governo federal, as despesas em P&D são essenciais para o dinamismo e desenvolvimento dos SNIs. Para Lundvall (2010), os gastos com P&D são tão importantes que muitas vezes servem como *proxies* para a mensuração da inovação dos países. Além disso, os investimentos em P&D influenciam na capacidade de organização, transformação e aplicação de conhecimento externo através do desenvolvimento da capacidade de absorção do processo inovativo das empresas (COHEN e LEVINTHAL, 1990).

Já as variáveis *Lntecp&d* e *Lnpesqp&d* são muitas das vezes negligenciadas no processo de geração e difusão de tecnologia, os técnicos e pesquisadores em P&D usam seus conhecimentos de ciência, tecnologia, engenharia e matemática para a resolução de uma diversidade de problemas práticos que surgem em pesquisa e desenvolvimento, produção e manutenção (LEWIS, 2019). Esses fatores trazem, de acordo com Lewis (2019), contribuições significativas para a geração, desenvolvimento e difusão das inovações geradas.

Com relação às variáveis *Lnextpalt* e *Lnextpman* indicam a importância de política de geração de crescimento econômico ligado ao processamento de produtos e processos novos voltados para o mercado externo. Países com pauta de exportação direcionada a produtos de baixo valor agregado como *commodities* possuem baixo dinamismo econômico e estão propícias a crises severas à medida que o preço desses produtos caiam no mercado internacional. A visão para fora de produtos de maior valor agregado gera retornos e propiciam um maior crescimento econômico sustentado para os SNIs.

E, por último, as variáveis ligadas ao direito de propriedade possuem papel importante na geração do processo de inovação dos SNIs, principalmente dando suporte e incentivando a geração de novas patentes. Segundo Clancy e Moschini (2017), o que define e dá segurança e incentivo para um empreendedor inovador é a certeza de que sua invenção após ser patenteada lhe dará exclusividade na exploração econômica da sua inovação. Portanto, o direito de propriedade é fundamental para o ambiente que propicie a geração, absorção e difusão de conhecimento e de inovação.

Analisando os escores podemos observar a distribuição dos países com maiores e menores eficiência. A tabela 2 apresenta os 10 países com maior dinamismo e que estão na fronteira tecnológica atual possibilitando a seu SNI maior capacidade de geração tecnológica e

de maior participação na liderança da produção científica mundial (PATELL e PAVITT, 1994). Os países menos eficientes e com maiores ineficiências foram Nigéria, Indonésia, Egito, Grécia e Paquistão.

Tabela 2 – Os 10 países mais eficientes pelo escores de Eficiência do modelo de Fronteira estocástica

	Escore	desp&d	pesqp&d	tecp&d	expaltecmanu	expalteccorren	propintelpay	propintelrec
Estados Unidos	0.8944	3.2	4,821.2	1,264.9	6.8	15,036,520,591.0	6,838,705,334.6	3,418,268,058.0
China	0.8867	2.2	1,471.3	303.5	7.5	672,133,557.0	1,722,653,634.8	45,131,485.1
Alemanha	0.8090	3.2	5,396.5	2,006.7	16.4	208,148,360,615.0	16,664,358,265.7	37,150,941,482.2
Coréia	0.6209	4.6	8,407.8	2,123.6	12.1	9,579,549,585.0	1,528,895,648.0	4,058,729,555.1
Finlândia	0.4752	2.8	7,227.5	1,805.5	26.9	120,534,304,793.0	12,191,473,891.1	15,521,112,562.9
Japão	0.4693	3.2	5,374.6	143.0	7.8	32,548,431,190.0	4,952,836,477.9	4,496,738,843.7
Dinamarca	0.4099	2.9	7,739.4	369.6	2.3	323,853,851.0	294,000,000.0	1,100,000.0
Áustria	0.3351	3.1	5,895.4	2,648.1	11.5	15,959,507,308.0	2,101,791,071.6	1,431,498,821.2
Holanda	0.3109	2.2	5,715.2	1,252.2	23.0	86,980,976,671.0	40,691,465,887.0	41,345,168,291.8
Austrália	0.2992	1.8	4,532.4	1,136.5	21.3	6,347,419,761.0	3,454,533,531.2	896,025,988.0

Fonte: Elaboração Própria

5. CONCLUSÃO

O aumento da concorrência internacional nos últimos anos se deu pelos avanços contínuos em tecnologia, sendo que a inovação tecnológica passou a ser o elemento mais importante no processo de competitividade dos setores. O modo com que a inovação tecnológica impacta na competitividade das organizações é por intermédio da otimização da produtividade, da melhoria na comunicação, na qualidade dos produtos, bem como nos métodos de controle e planejamento, possibilitando, a diferenciação ou a redução dos custos.

Para a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2017), o desempenho inovador de um país torna-se fator crucial para a determinação e desaceleração do fluxo competitivo entre empresas e, também, é fator chave para a geração do progresso e desenvolvimento econômico. Além disso, este desempenho inovador é importante para o

enfrentamento de diversos desafios globais, como as mudanças climáticas e o desenvolvimento sustentável das nações. Segundo o mesmo estudo, alguns fatores são essenciais para o aumento do desempenho inovador, dentre eles podemos destacar: 1) Redução das regulamentações anti competitivas do mercado de produtos que estimulem a P&D dos negócios; 2) Condições macroeconômicas estáveis e baixa taxa de juros reais que incentivem o crescimento de atividades inovativas; 3) Disponibilidade de finança interna e externa; 4) Expansão da pesquisa pública, que pode apoiar a pesquisa no setor empresarial.

Neste sentido, a exploração e a consolidação de um ambiente propício à elaboração e à disseminação de conhecimento e de geração de inovação tecnológica é primordial para o desenvolvimento regional e, principalmente, para a redução das desigualdades regionais e locais históricas em nosso país. Entender o comportamento, as dinâmicas e problemas que enfrentam os atores, neste caso as empresas, que compõem o sistema nacional de inovação é fator chave para a concretização do desse ambiente inovativo.

O objetivo deste artigo foi o de analisar e determinar a eficiência técnica para os SNIs das 50 maiores economias utilizando a metodologia adaptada de Ratner, Balashova e Lychev (2022). Buscou-se, então, verificar qual a importância do conjunto de variáveis observadas para o funcionamento dos sistemas de inovação dos países estudados. Buscou-se, também, medir e ranquear os países de acordo com seu grau de ineficiência técnica gerada no modelo.

A análise de eficiência técnica foi realizada através do modelo de fronteira de produção estocástica desenvolvida pioneiramente por Aigner e Chu (1968), e depois por Aigner, Lovell e Schmidt (1977) e Battese e Corra (1977). Todas as variáveis apresentaram estatisticamente significantes, assim como preconiza a literatura observada. Para essa análise o modelo de fronteira apresentou rendimentos crescentes de escala, mas alto grau de ineficiência entre os países.

Os países melhor ranqueados na análise são aqueles que apresentam maior dinamismo econômico. O destaque dentre todos fica para Estados Unidos, China, Alemanha e Coréia. Por outro lado, na ponta invertida dos escores de eficiência encontrasse Grécia, Egito, Indonésia e Nigéria.

REFERÊNCIAS

- AIGNER D. J.; S. F. SCHU. **On Estimating the Industry Production Function**. *American Economic Review*, vol. 58, 1968.
- AIGNER, D., LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. **Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models**, *Journal of Econometrics*, Vol.6, 1997.
- ALBUQUERQUE, E. **Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia**. *Revista de Economia Política*, vol. 16, nº 3. 1996.
- ALBUQUERQUE, E.; SICSU, J. **Inovação Institucional e Estímulo Ao Investimento Privado**. *São Paulo Perspectiva*, 14 (3). 2000.
- ALBUQUERQUE, E.M. **Sistema Nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia**. *Revista da Economia Política*, vol. 16, nº. 3 (63), julho-setembro/1996.
- BADUNENKO *et al.* **What drives the productive efficiency of a firm? the importance of industry, location, R&D, and size**. *International Industrial Organization Conference*, 2006.
- BATTESE G. E.; T. J. COELLI. **A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data**, *Empirical Economics*, nº20, 1995.
- BATTESE, G. E.; CORRA, G. **Estimation of a Production Function Frontier Model: With Application to the Pastrol Zone of Eastern Australia**. *Australian Journal Agricultural Economics*, 1977.
- CASSIOLATO, J. E; LASTRES, H. M. M. **Sistemas de inovação: políticas e perspectivas**. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n. 8, maio 2000.
- Chen, K., & Guan, J. (2012). **Measuring the efficiency of China's regional innovation systems: application of network data envelopment analysis (DEA)**. *Regional Studies*, 46(3), 355-377.
- CHEN, Kaihua; GUAN, Jiancheng. **Measuring the efficiency of China's regional innovation systems: application of network data envelopment analysis (DEA)**. *Regional Studies*, 2012, 46.3: 355-377.
- CIMOLE, M. **National System of Innovation: A note on Technological Asymmetries and Catching-up Perspectives**. *Revista de Economia Contemporânea*, 18 (1). 2014.
- CLANCY, M. S.; MOSCHINI, G. **Intellectual Property Rights and the Ascent of Proprietary Innovation in Agriculture**. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa state university. 2017.
- DOSI, G. **Technical change and industrial transformation: the patterns of industrial dynamics**. Londres: Macmillan. 1984.
- Edquist, C., and Lundvall, B.-Å. [Comparing the Danish and Swedish systems of innovation](#). In Nelson, R. R. (Ed.), *National innovation systems – A comparative analysis* (pp. 265-291). Oxford, UK: Oxford University Press. 1993.
- FREEMAN, C. **The “National System of Innovation” in historical perspective**. *Cambridge Journal of Economics*, 1995.

- FREEMAN, C. **The “National System of Innovation” in historical perspective**. Cambridge Journal of Economics, 1995.
- FREEMAN, C. **The economics of industrial innovation**. London: Penguin. 1997.
- HASHIMOTO, A.
- GALA, PAULO. **Complexidade Econômica: Uma nova perspectiva para entender a antiga questão da riqueza das nações**. 1ª edição. Contraponto. Rio de Janeiro. 2017.
- HESHMATI, A. **A Generalized Knowledge Production Function**. Techno-Economics and Policy Program College of Engineering, Seoul National University, 2005.
- HESHMATI, A.; PIETOLA, K. **The relationship between corporate competitiveness strategy, innovation, increased efficiency, productivity growth and outsourcing**. Techno-Economics & Policy Program, 2004.
- Hu, J. L., Yang, C. H., & Chen, C. P. (2014). **R&D efficiency and the national innovation system: An international comparison using the distance function approach**. *Bulletin of Economic Research*, 66(1), 55-71.
- HU, Jin-Li; YANG, Chih-Hai; CHEN, Chiang-Ping. **R&D efficiency and the national innovation system: An international comparison using the distance function approach**. *Bulletin of Economic Research*, 2014, 66.1: 55-71.
- KIM, L.; NELSON, R. R. **Tecnologia, aprendizado e inovação: as experiências das economias de industrialização recente**. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2005.
- Kotsemir, M. (2013). **Measuring national innovation systems efficiency—a review of DEA approach**. *Higher School of Economics Research Paper No. WP BRP*, 16.
- KUMBHAKAR, S.; LOVELL, K. **Stochastic Frontier Analysis**. Cambridge University Press, 2000.
- LEWIS, P. **Technicians and innovation: A literature Review**. The Gatsby Charitable Foundation. London, 2019.
- LUNDEVALL, B. A. **National system of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter, 1992.
- LUNDEVALL, B. A. **National system of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. London: Pinter, 1992.
- Matei, M. M., & Aldea, A. (2012). **Ranking national innovation systems according to their technical efficiency**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 62, 968-974.
- MATEI, Monica Mihaela; ALDEA, Anamaria. **Ranking national innovation systems according to their technical efficiency**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2012, 62: 968-974.
- METCALFE, S. RAMLOGAN, R. **Innovation systems and the competitive process in developing economies**. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. Volume 48, Issue 2, Maio 2008.
- MOWERY, D.; ROSENBERG, N. **Technology and the Pursuit of Economic Growth**. Cambridge University Press, Cambridge, England. 1993.
- NEGRI, J. A.; SALERMO, M. S. **Inovações, padrões tecnológicos e desempenho das firmas industriais brasileiras**. Brasília: IPEA, 2005.

- NELSON, R. R. **National innovation system: a comparative analysis**. New York. 1993.
- NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **Uma teoria evolucionária da mudança econômica**. Campinas SP: Editora Unicamp, 2005.
- NELSON, R.; ROSENBERG, N. Technical innovation and national systems. In: NELSON, R. (Ed.). **National innovation systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University, p. 3-21, 1993.
- OCDE - ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Manual de Oslo: Propostas de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação**. 3ª ed. Trad. FINEP. Rio de Janeiro: OCDE; Eurostat; FINEP, 2017.
- PATTEL, P. & PAVITT, K. **National innovation system: why they are important, and how they might be measured and compared**. Economics of innovation and new technology. Basel, vol. 3. 1994.
- PORTER, Michael. **Competição: estratégias competitivas essenciais**. Tradução por Afonso Celso da Cunha Serra. Rio de Janeiro. Campus, 1999.
- PORTER, Michael. **Vantagem competitiva: criando e sustentando um desempenho superior**. Rio de Janeiro: Campus, 1989.
- RATNER S.V.; BALASHOVA, S.A.; LYCHEV, A.V. **The Efficiency of National Innovation Systems in Post-Soviet Countries: DEA-Based Approach**. *Mathematics* **2022**, *10*, 3615
- TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- Zabala-Iturriagoitia, J. M., Voigt, P., Gutierrez-Gracia, A., & Jimenez-Saez, F. (2007). **Regional innovation systems: how to assess performance**. *Regional Studies*, *41*(5), 661-672.
- ZABALA-ITURRIAGAGOITIA, Jon M., et al. Regional innovation systems: how to assess performance

Anexos

Tabela – Ranqueamento dos 50 países analisados

Países	Escore	Posição
Estados Unidos	0,8944	1°
China	0,8867	2°
Alemanha	0,809	3°
Coréia	0,6209	4°
Finlândia	0,4752	5°
Japão	0,4693	6°
Dinamarca	0,4099	7°
Áustria	0,3351	8°
Holanda	0,3109	9°
Austrália	0,2992	10°
Canadá	0,26464	11°
Suécia	0,23008	12°
Reino Unido	0,19552	13°
Bélgica	0,16096	14°
Noruega	0,1264	15°
Singapura	0,09184	16°
Nova Zelândia	0,05728	17°
Itália	0,02272	18°
República Checa	-0,01184	19°
Suíça	-0,0464	20°
Índia	-0,08096	21°
França	-0,11552	22°
Argentina	-0,15008	23°
Israel	-0,18464	24°
Colômbia	-0,2192	25°
Portugal	-0,25376	26°
Brasil	-0,28832	27°
Chile	-0,32288	28°
Bangladesh	-0,35744	29°
Arábia Saudita	-0,392	30°
Irã	-0,42656	31°
Espanha	-0,46112	32°
África do Sul	-0,49568	33°
Romênia	-0,53024	34°
Rússia	-0,5648	35°
Tailândia	-0,59936	36°
Malásia	-0,63392	37°
Turquia	-0,66848	38°
Polônia	-0,66765	39°
Filipinas	-0,70304	40°
Vietnã	-0,7376	41°
Peru	-0,77216	42°
Irlanda	-0,80672	43°
Emirados Árabes	-0,84128	44°
México	-0,87584	45°
Paquistão	-0,9104	46°
Grécia	-0,94496	47°
Egito	-0,97952	48°
Indonésia	-1,01408	49°
Nigéria	-1,04864	50°

Fonte: Elaboração própria. Stata 13.1