



VIII ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e
Inovação

20 a 23 de Maio de 2024

POLÍTICA INDUSTRIAL E
ECONOMIA DO CONHECIMENTO:
NOVAS ESTRATÉGIAS DE
DESENVOLVIMENTO PARA O BRASIL



Produtividade e intensidade de patenteamento da indústria de transformação brasileira

Vinícius Luís de Souza Nonato *;
Paula Virgínia Tófoli **;
Philipp Ehrl***

Resumo: Este trabalho busca identificar se a intensidade de depósitos de patentes afeta a produtividade dos setores da indústria de transformação brasileira por meio de quatro canais de transmissão: acúmulo de conhecimento, spillovers, progresso técnico e eficiência técnica. Para isso, dados setoriais entre 2012 e 2021 são usados em um modelo de fronteiras estocásticas para dados em painel, seguindo o método proposto por Wang e Schmidt (2002) e Greene (2005), que incorpora efeitos fixos e variáveis exógenas como determinantes da eficiência técnica. Os resultados mostram que a intensidade de patenteamento eleva a produtividade via acúmulo de conhecimento e spillovers. O estoque de patentes e de spillovers também conseguem deslocar a fronteira de produção para cima. Em relação ao canal da eficiência, o acúmulo de patentes reduz a dispersão dos setores em relação à fronteira, contudo, os spillovers têm o efeito inverso.

Palavras-chave: Fronteiras estocásticas; patentes; indústria de transformação; eficiência técnica; produtividade.

Código JEL: D24; O30; L60

Área Temática: 1.3 Crescimento, produtividade e competitividade

Productivity and patent intensity of the Brazilian manufacturing industry

Abstract: This study seeks to identify whether the intensity of patent filings affects the productivity of Brazilian manufacturing sectors through four transmission channels: knowledge accumulation, spillovers, technical progress, and technical efficiency. For this, sectoral data between 2012 and 2021 are used in a stochastic frontier model for panel data, following the method proposed by Wang and Schmidt (2002) and Greene (2005), which incorporates fixed effects and exogenous variables as determinants of technical efficiency. The results show that patenting intensity increases productivity via knowledge accumulation and spillovers. The stock of patents and spillovers can also shift the production frontier upwards. In relation to the efficiency channel, the accumulation of patents reduces the dispersion of sectors in relation to the frontier, however, spillovers have the opposite effect.

Keywords: Stochastic frontiers; patents; manufacturing industry; technical efficiency; productivity.

* Mestre em Economia pela Universidade Católica de Brasília e Analista de Políticas e Indústria da Confederação Nacional da Indústria. E-mail: viniciusln@hotmail.com

** Professora do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Católica de Brasília. E-mail: paula.tofoli@ucb.br

*** Professor da Escola de Políticas Públicas e Governo da Fundação Getúlio Vargas (FGV-EPPG). E-mail: philipp.ehrl@fgv.br

1. Introdução

A indústria de transformação é o segmento econômico com maior capacidade de geração de valor no país. Dados da Confederação Nacional da Indústria¹ mostram que para cada R\$ 1,00 produzido pela indústria de transformação, são produzidos R\$ 2,70 na economia. Nos demais segmentos econômicos, esse efeito multiplicador é menor – R\$ 1,72 na agricultura e R\$ 1,42 em comércio e serviços. Além disso, a indústria de transformação é responsável por 48,8% das exportações brasileiras e 62,5% do investimento empresarial em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Contudo, a indústria tem perdido espaço na economia brasileira. A participação da indústria de transformação no PIB caiu, de 35,9% em 1985 para 12,9% em 2022, e a participação de manufaturados importados no consumo nacional cresceu de 13,4% em 2003 para 24,8% em 2021². Ademais, a baixa produtividade também tem sido um entrave para o crescimento do setor. Apesar de ter crescido 9,2% entre 2000 e 2021, a produtividade da indústria brasileira só cresceu acima da japonesa, quando comparado com seus 10 principais parceiros comerciais³.

Por conta da importância que a indústria tem para a geração de valor na economia e do quadro de baixo crescimento de produtividade, é importante analisar a estrutura produtiva da indústria brasileira e quais são os determinantes que podem elevar sua competitividade. Identificar os fatores que elevam a produtividade das firmas permite encontrar formas de tornar o processo produtivo mais eficiente e formular políticas públicas para aumentar a competitividade do país.

A inovação tem um papel essencial para o crescimento econômico no longo prazo. Apenas países que conseguem acompanhar os paradigmas tecnológicos conseguem acompanhar o crescimento dos países líderes na fronteira tecnológica (Abramovitz, 1986; Castellaci, 2004).

Nesse sentido, este trabalho busca identificar como a intensidade de depósitos de patentes afeta a produtividade da indústria de transformação brasileira. Para isso, a técnica de estimação de fronteiras estocásticas para dados em painel foi empregada para identificar como as patentes impactam a produtividade por meio de quatro canais de transmissão: acúmulo de conhecimento, *spillovers*, progresso técnico e eficiência técnica.

As informações sobre depósitos de patentes, apesar de possuírem problemas ao serem utilizadas como *proxies* de inovação, demonstram a capacidade inovativa das empresas. Aquelas firmas que depositam patentes são capazes de desenvolver produtos e/ou processos novos para o mercado, mesmo que essas patentes não resultem na comercialização dos produtos ou na implantação dos processos (OCDE, 2005).

Esse trabalho contribui para a literatura de inovação e de eficiência técnica por três eixos. O primeiro está em identificar o efeito das patentes na produtividade, incorporando ineficiências no processo produtivo. Foram encontrados apenas dois estudos que incorporaram ineficiências na produção, entretanto, mediram o efeito do acúmulo de patentes apenas sobre o canal da eficiência técnica (Montinari e Rochlitz, 2012; e Aguiar et al., 2017).

O segundo é de incluir a indústria brasileira na literatura acerca de determinantes da eficiência técnica. Apenas o estudo de Alves (1988) fez isso, medindo o efeito do comércio na eficiência técnica de indústrias do estado de Minas Gerais. A maioria dos trabalhos que medem a eficiência técnica da indústria brasileira buscaram comparar as variações de eficiência e calcular índices de produtividade total dos fatores (Braga e Rossi, 1986; Schettini, 2010; Rigitano et al., 2013).

¹ Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/importancia-da-industria/>. Acesso em: 31/05/2023.

² Dados disponíveis em: <https://industriabrasileira.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em: 03/06/2023.

³ Estados Unidos, Argentina, Alemanha, México, Países Baixos, Coreia do Sul, Japão, Itália, França e Reino Unido. Não são consideradas considerados China, Chile, Rússia e Índia devido à falta de informações. Dados e metodologia disponíveis em: <https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/produtividade-na-industria/>. Acesso em: 25/06/2023.

O terceiro eixo é o uso de dados de depósitos de patentes a nível setorial, obtidos por meio de comunicação direta com o Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Essas informações não são disponibilizadas em bases de dados de patentes, sejam nacionais ou internacionais.

Uma dificuldade enfrentada no processo inovativo brasileiro é a baixa difusão da importância dos direitos de propriedade intelectual. Por conta disso, cerca de 71% dos mais de 28 mil pedidos de patentes recebidos pelo INPI em 2019 são de depositantes não residentes. Apenas 8% dos depósitos foram feitos por pessoas jurídicas residentes, exceto universidades⁴.

Ao aferir o impacto do patenteamento na produtividade dos setores da indústria de transformação, este trabalho dimensiona o reflexo da capacidade inovativa da indústria brasileira na redução de desperdícios e melhor alocação de recursos na produção. Por conta disso, os resultados deste estudo também serão úteis para a formulação e fortalecimento de políticas públicas voltadas ao aumento da competitividade e produtividade da indústria brasileira e de utilização do sistema de propriedade intelectual.

Os resultados do trabalho apontam, de forma geral, que as patentes são capazes de aumentar a produtividade por meio do acúmulo de conhecimento e de *spillovers* intersetoriais. Também foi observado o deslocamento da fronteira de produção, causado tanto pelo estoque de patentes quanto pelos *spillovers*. Observou-se que o estoque de patentes consegue reduzir a dispersão em relação à fronteira, no canal da eficiência, contudo, os *spillovers* aumentam essa dispersão. Os resultados estão em linha com os encontrados por Kim et al. (2009), Guo (2014) e Sanchis et al. (2014).

O estudo está organizado da seguinte forma: a seção 2 traz o referencial teórico sobre produtividade, fronteiras de produção, inovação e patenteamento; e a seção 3 traz informações sobre os dados, construção das variáveis e metodologia utilizada; a seção 4 traz a análise dos resultados obtidos; e a seção 5 aborda as conclusões do trabalho e suas implicações para políticas públicas recentes.

2. Referencial teórico

2.1. Produtividade e fronteiras de produção

Quando se discute a performance econômica do setor produtivo, geralmente se mede qual é o agente mais produtivo ou o mais eficiente. Produtividade é usualmente definida como a razão entre volume produzido e uma medida de insumo utilizado. Como descrito pela OCDE (2001), as medidas de produtividade podem ser classificadas como medidas de único fator ou de múltiplos fatores.

Uma das medidas mais utilizadas, devido à facilidade de obter dados, é a produtividade do trabalho, medida como produto por trabalhador ou produto por hora trabalhada. Ainda de acordo com a OCDE (2001), esse é um indicador útil para entender o desenvolvimento dos padrões de vida. Já a produtividade multifatorial, ou produtividade total dos fatores (PTF), é útil para avaliar a capacidade produtiva do país. O BLS (2023) define que variações na produtividade podem ser explicadas pela influência conjunta das mudanças tecnológicas, retornos de escala, realocação de recursos, melhorias de eficiência e fatores exógenos do ambiente econômico em que a empresa está inserida.

Uma característica comum dessa literatura, no entanto, é assumir que os insumos de produção são completamente utilizados, ou seja, que não há ineficiências na produção (Greene, 2008). A eficiência produtiva, no entanto, é um dos componentes de variação da produtividade. Se trata da comparação da produção no nível observado e no nível ótimo de alocação dos fatores. Essa análise pode ser feita comparando o produto observado com o produto potencial máximo, dados os insumos; ou comparando a utilização de insumos observada com o insumo mínimo potencial necessário para produzir determinada quantidade; ou ainda alguma combinação dos dois (Fried et al., 2008).

A eficiência técnica se refere à habilidade de evitar desperdícios. Koopmans (1951) define formalmente eficiência técnica como aquela na qual é impossível produzir mais de um determinado produto sem reduzir a produção de outro, ou sem aumentar os insumos. Assim como a redução em um

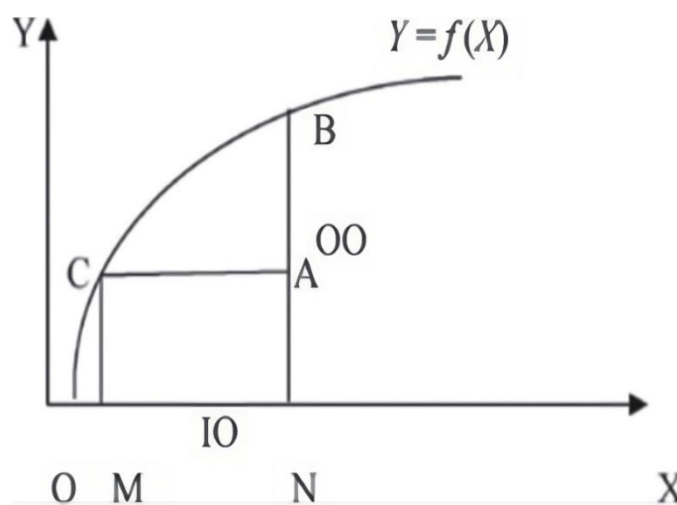
⁴ De acordo com estatísticas do INPI, disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/central-de-conteudo/estatisticas/estatisticas>. Acesso em: 25/06/2023.

determinado insumo requer o aumento em outro, ou a redução da produção de algum produto.

Debreu (1951), Shephard (1953) e Farrell (1957) contribuíram para a introdução de funções de distância como forma de medir a distância radial de um produtor em relação à fronteira. Um produtor ineficiente conseguiria minimizar a utilização de insumos, mantendo a produção fixa, obtendo, assim, uma eficiência técnica orientada para insumos. Por outro lado, se o produtor maximizar a produção mantendo a dotação de insumos fixa, a eficiência técnica é orientada para o produto.

A Figura 1 representa esses conceitos. A produção (Y) segue uma função $Y = f(X)$. O ponto A representa uma produção ineficiente, já que está abaixo do máximo possível da fronteira. Para tornar a produção eficiente, pode-se tomar dois caminhos: o caminho orientado para produto, aumenta a produção do ponto A para o ponto B, mantendo a quantidade de insumos N fixa; a segunda opção, orientada para insumos, reduz o uso de insumos de N para M, mantendo a produção fixa, de forma que a firma saia do ponto A e passe a operar no ponto C.

Figura 1. Eficiência técnica orientada para insumos e orientada para produto



Fonte: Mazorodze (2020)

Neste trabalho, o foco será na medida de eficiência orientada para produto, visto que a inovação possibilita o aumento da quantidade produzida sem alterar a quantidade de insumos disponíveis.

Como a mensuração da eficiência necessita da comparação da performance real com a do nível ótimo, precisa-se identificar a fronteira. Como a fronteira real é desconhecida, é necessário utilizar algum método para estimá-la (Fried et al., 2008). Essa estimativa pode ser obtida por meio de métodos econométricos (paramétricos) ou de programação matemática (não paramétrico), ambas com o mesmo propósito, de medir a distância da firma em relação ao ótimo.

O método não paramétrico se dá a partir da técnica de análise de envoltória de dados (DEA, *Data Envelopment Analysis* na sigla em inglês), desenvolvida por Charnes et al. (1978) e estendida por Banker et al. (1984). A técnica avalia a eficiência de um conjunto de DMU's (*Decision Making Unit*, na sigla em inglês) por meio de programação linear com restrições. A técnica não necessita da definição de uma função de produção, no entanto pode apresentar erros de medição, devido à fronteira ser definida a partir de um conjunto pequeno de firmas mais eficientes (Alvarez e Crespi, 2003).

Já o método paramétrico consiste na análise de fronteiras estocásticas (SFA, *Stochastic Frontier Analysis* na sigla em inglês), desenvolvida por Aigner et al. (1977) e Meeusen e van den Broeck (1977). A ideia geral do modelo é de que nenhum produtor consegue superar a fronteira ideal de produção e qualquer desvio dessa fronteira representa ineficiência na produção. Essa abordagem é estocástica, pois permite a distinção entre os efeitos de ruídos aleatórios e da ineficiência produtiva, permitindo realizar inferências estatísticas. A técnica, no entanto, demanda a definição de uma função de produção, o que pode apresentar erros de especificação tanto da tecnologia, como da ineficiência.

Ambas as técnicas possuem vantagens e desvantagens em sua utilização. Contudo, como este trabalho objetiva mensurar o efeito da intensidade de patenteamento sobre a produtividade por múltiplos canais, não somente o da eficiência técnica, o método de fronteiras estocásticas é o mais adequado. A

função de produção definida pelo método permite estimar esse efeito em todos os canais em um procedimento de uma única etapa, como definido por Wang e Schmidt (2002).

2.2. Inovação e patenteamento

A inovação tem papel crucial para o crescimento econômico e para a competitividade das empresas no longo prazo, visto que dita a dinâmica de crescimento de todos os países (Schumpeter, 1911; Solow, 1957; Griliches, 1958; Romer, 1986; Porter, 1992; OCDE, 2015). De forma simples, existem duas formas de se obter crescimento econômico: aumentando a quantidade de insumos empregados na produção, ou encontrando novos meios de aumentar a produção a partir da quantidade de insumos que possui (Rosenberg, 2004).

Para que países em desenvolvimento, como o Brasil, consigam entrar num processo de *catching up*⁵, é fundamental que haja um aumento de produtividade por meio da inovação. Abramovitz (1986) argumenta que o *gap* de produtividade entre países possibilita que aqueles em desenvolvimento tenham oportunidades de avançar e alcançar os que estão na fronteira tecnológica. Portanto a capacidade do país de se adequar aos paradigmas tecnológicos dita seu crescimento. Quanto mais cedo e quanto mais rápida for a difusão do novo paradigma tecnológico dentro do país, melhor será a performance econômica em relação aos demais países durante determinada onda tecnológica (Castellaci, 2004).

A inovação é um meio para melhorar as configurações organizacionais e a coordenação entre as empresas, além de favorecer a adaptação e exploração de tecnologias de ponta. Essas melhorias levam a uma melhor gestão dos insumos produtivos. A inovação aumenta o progresso tecnológico, ou seja, desloca a fronteira de produção para cima. As firmas que não forem capazes de acompanhar esse progresso, observarão seu gap em relação à fronteira aumentar (Pieri et al., 2018).

Um dos principais indicadores do progresso tecnológico é o estoque de patentes. A patente fornece o direito de propriedade legal sobre uma invenção, sendo concedida por um escritório nacional de patentes. Na prática, a patente fornece ao seu detentor o direito de monopólio, por tempo limitado, para explorar sua invenção dentro do território em que foi concedida. Ao mesmo tempo, as informações sobre a patente são divulgadas publicamente, permitindo, assim, um uso social amplo da descoberta (OCDE, 2005).

O Manual de Oslo (OCDE, 2005), indica que a quantidade de patentes obtidas por uma firma ou país reflete seu dinamismo tecnológico. Apesar disso, a quantidade de patentes tem suas desvantagens como indicador de inovação. Algumas inovações não são patenteáveis, enquanto outras são cobertas por várias patentes. Algumas não tem valor tecnológico ou econômico, enquanto outras possuem alto valor.

As diferenças de intensidade em que os setores depositam patentes também são um problema. Há setores que depositam mais do que outros, no entanto isso não quer dizer que suas invenções são mais importantes. Além disso, empresas podem fazer pedidos de patentes que não se tornam produtos comercializados, seja por questões estratégicas, para bloquear seus concorrentes, seja por questões não estratégicas, como a dificuldade e o custo de implementar a invenção ou falta de interessados em comprar os direitos da patente (Furtado e Queiroz, 2005; Torrisi et al., 2016).

Mesmo assim, os dados de patentes são valiosos indicadores de inovação. A patente mede efetivamente a inovação tecnológica. A avaliação de seu conteúdo busca identificar se aquela invenção é de fato nova e se não é óbvia para especialistas da área. Esses dados funcionam como indicadores de resultado intermediário da atividade inovadora, fornecendo informações da capacidade inovativa das empresas. Pode-se assumir que empresas que depositam patentes são capazes de desenvolver produtos e processos que são novos para o mercado (Furtado e Queiroz, 2005; OCDE, 2005).

Outro argumento a favor de usar patentes como indicador de inovação é o fato de que medidas de dispêndio em P&D são indicadores de insumos para inovação (Furtado e Queiroz, 2005; OCDE, 2005), que muitas vezes não resultam em inovação de fato. Além disso, indicadores de quantidades de empresas que inovaram, obtidos em pesquisas como a PINTEC, do IBGE, possuem periodicidade muito

⁵ O conceito de *catching up*, assim como os de *forging ahead* e *falling behind*, são discutidos em detalhes por Abramovitz (1986).

baixa, o que dificulta a aplicação de testes econométricos.

Trabalhos como os de Kim et al. (2009), Guo (2014) e Sanchis et al. (2014) utilizaram métodos de cointegração para determinar a relação de longo prazo entre patentes e produtividade

Kim et al. (2009) investigam o efeito de patentes na PTF da Coreia do Sul. Os autores utilizam um método de correspondência entre a classificação internacional de patentes (IPC) e a classificação internacional de setores industriais (ISIC). Os resultados mostram que tanto os depósitos de residentes quanto de não residentes são capazes de elevar a produtividade via acúmulo de patentes e via *spillovers* intersetoriais.

Guo (2014) encontram uma relação de longo prazo entre patentes e PTF no Japão. Os resultados sugerem que o aumento nos depósitos de patentes eleva a inovação e que há uma relação de causalidade bidirecional da média e da variância entre pedidos de patente e PTF. Isso indica que há *spillovers* bidirecionais sobre a média e a volatilidade dessas variáveis no contexto japonês.

Sanchis et al. (2014) investigam o efeito do estoque de patentes e de capital humano na PTF dos Estados Unidos, França, Alemanha, Reino Unido e Espanha. Os resultados mostram efeitos positivos de patentes, tanto via acúmulo doméstico de conhecimento quanto via *spillovers* por meio do comércio.

Foram encontrados apenas os trabalhos de Montinari e Rochlitz (2012) e Aguiar et al. (2017) que levam em consideração a existência de ineficiências na produção. No entanto, eles testam o impacto das patentes apenas sobre o canal da eficiência técnica.

Montinari e Rochlitz (2012) utilizam o método de fronteiras estocásticas para medir o efeito do estoque de patentes na eficiência técnica da indústria de transformação dos países da OCDE, da Ásia e da América Latina. Os autores encontram que o acúmulo de patentes consegue reduzir ineficiências em setores de alta tecnologia. Contudo, as patentes geram ineficiências em setores de baixa tecnologia. Segundo os autores, como a atividade de patenteamento é maior em setores de alta tecnologia, e os recursos de P&D são escassos, um efeito *crowding-out*, que diverge recursos de setores de baixa tecnologia para os de alta tecnologia, pode ter sido capturado.

Aguiar et al. (2017) utilizam o método de fronteiras estocástica para medir a PTF em um painel de 40 países. Os autores encontram um efeito negativo do acúmulo de patentes de residentes na eficiência, ou seja, aumenta desperdícios. Apesar de o conhecimento das patentes ser público, pode haver custos mais elevados para novas invenções, especialmente quando os inventores combinam invenções de diversas fontes (Hall, 2007).

Outros trabalhos, como os de Alvarez e Crespi (2003), Chang e Robin (2011) e Pieri et al. (2018) também exploram o canal da eficiência técnica, utilizando outros indicadores de inovação.

Alvarez e Crespi (2003), utilizam o DEA e um modelo Tobit para encontrar os determinantes de eficiência de indústrias chilenas. Os autores mostram que empresas que inovam em produto e/ou processo são as mais eficientes e as mais próximas da fronteira de produção.

Chang e Robin (2011) utilizam o modelo de fronteiras estocásticas e um modelo Tobit para identificar os efeitos da inovação na eficiência de indústrias do Taiwan. Os resultados mostram efeitos positivos tanto do investimento em P&D como da importação de tecnologias. Os autores apontaram que incentivos à inovação se reverteram em aumento das vendas anos depois, evidenciando a importância do processo de *catching up* para se aproximar da fronteira de produção.

Pieri et al. (2018) usaram um modelo de fronteiras estocásticas para mesurar o efeito das tecnologias de informação e comunicação (TIC) e do P&D na produtividade de um painel de indústrias de países da OCDE. Os resultados mostram efeitos positivos de ambas as variáveis em relação ao acúmulo insumos, *spillovers*, progresso técnico e eficiência técnica.

3. Estratégia empírica

3.1. Dados

Para estimação da função de produção, a amostra é composta por um painel de dados de 24 setores da indústria de transformação, classificados de acordo com a CNAE 2.0 a nível de 2 dígitos, englobando

o período de 2012 a 2021⁶. A Tabela 1 lista todas as variáveis e fontes utilizadas para construção da função estimada.

No cenário ideal, teríamos acesso a dados a nível de firma. No entanto, esses dados são de difícil acesso, principalmente para comparações ao longo do tempo. Como serão utilizados dados secundários a nível setorial, precisamos assumir que as firmas pertencentes ao mesmo setor possuem comportamento homogêneo, sendo interpretados, assim, como firmas representativas. Tal suposição também é utilizada por Lambert and Parker (1998), Sun et al. (1999) e Mazorodze (2020).

Todas as variáveis monetárias foram deflacionadas para preços de 2021 utilizando os Índices de Preços ao Atacado – Oferta Global (IPA-OG-DI) setoriais, calculados pela Fundação Getúlio Vargas (FGV).

Os dados de depósitos de patentes, foram obtidos via solicitação direta ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), por meio da Lei n° 12.527/2011 (Lei de Acesso à Informação).

Tabela 1. Variáveis e fontes

Variável	Fonte
Valor bruto da produção (R\$)	PIA-Empresa (IBGE)
Consumo intermediário (R\$)	PIA-Empresa e Sistema de Contas Nacionais (IBGE)
Valor adicionado (R\$)	PIA-Empresa (IBGE)
Número médio de trabalhadores	PIA-Empresa (IBGE)
Número total de empresas	PIA-Empresa (IBGE)
Ativo imobilizado – aquisições, melhorias e baixas (R\$)	PIA-Empresa (IBGE)
Ativo imobilizado – número de empresas que informaram aquisições, melhorias e/ou baixas	PIA-Empresa (IBGE)
Depósitos de patentes de pessoas jurídicas residentes ⁷	INPI

3.2. Construção de variáveis

As variáveis a seguir fazem parte do modelo estimado, especificado na seção 3.3 e são construídas a partir dos dados descritos na Tabela 1. O estoque de capital dos setores industriais foi obtido por meio do método de inventário perpétuo. O estoque de capital k do setor i no tempo t é dado por:

$$k_{it} = (1 - \delta) \cdot k_{it-1} + I_{it} \quad (1)$$

em que δ representa a taxa de depreciação, fixada em 10% para todos os setores⁸. I_{it} representa o fluxo de investimento, obtido a partir dos dados de aquisições, melhorias e baixas no ativo imobilizado, disponibilizados na PIA-Empresa.

Como nem todas as firmas participantes da PIA declaram os valores de aquisições, melhorias e baixas, utilizou-se o método proposto por Souza e Pinto (2015) para se obter o investimento setorial:

$$I_{it} = \left(\frac{Aquisições_{it}}{N_Aquisições_{it}} + \frac{Melhorias_{it}}{N_Melhorias_{it}} - \frac{Baixas_{it}}{N_Baixas_{it}} \right) \cdot N_Empresas_{it} \quad (2)$$

⁶ Apesar de a PIA-Empresa disponibilizar dados a partir de 2007, a série histórica mais longa sobre depósitos de patentes, disponibilizada pelo INPI, se inicia em 2012.

⁷ Para fins estatísticos, o INPI classifica os dados de origem e natureza jurídica de acordo com as informações do primeiro depositante da patente.

⁸ Assim como Bitzer e Görg (2009), Berghäll (2012) e Mendonça et al. (2020). Souza e Pinto (2015) mostram que diferentes taxas de depreciação não alteram significativamente a intensidade de capital dos setores industriais, para dados brasileiros.

em que $N_Aquisições_{it}$, $N_Melhorias_{it}$ e N_Baixas_{it} representam o número de empresas informantes em cada categoria (aquisições, melhorias e baixas) e $N_Empresas_{it}$ representa o número total de empresas que participam da pesquisa. Dessa forma, assume-se que, em média, as empresas não declarantes realizaram o mesmo investimento que as declarantes.

Para obter o estoque inicial de capital, em $t=0$, dividiu-se o investimento do período inicial pela soma da taxa de depreciação e do crescimento anual médio (g_i) do valor adicionado de cada setor entre 2012 e 2021, que variou entre -9,2% e 8,9% ao ano.

$$k_{i0} = \frac{I_{it}}{(\delta + g_i)} \quad (3)$$

O estoque de patentes também foi obtido pelo método de inventário perpétuo, utilizando uma taxa de depreciação de 5%, visto que o período usual de vigência de uma patente é de 20 anos, a partir da data do depósito no INPI. Por conta da maior volatilidade nas taxas de crescimento setoriais, utilizou-se a taxa de crescimento do volume total de patentes depositadas pela indústria de transformação no período (0,4% ao ano).

Para a construção da variável de *spillovers* intersetoriais, adaptou-se o método apresentado por Pieri et al. (2018). Assim como em Coe e Helpman (1995), Pöschl et al. (2016), Pieri et al. (2018) e Brandão e Ehrl (2019), os *spillovers* são obtidos a partir da aquisição de bens e serviços, por meio de consumo intermediário. A dimensão na qual os *spillovers* afetam o setor i é proporcional ao volume consumido e ao estoque de patentes dos demais j setores:

$$SP_{it} = \sum_{j \neq i} w_{it,jt} P_{jt} \quad w_{it,jt} = CI_{it,jt} / \sum_{j \neq i, t} CI_{it,jt} \quad (4)$$

Onde SP_{it} é o estoque de *spillovers* do setor i , P_{jt} é o estoque de patentes do setor j , $w_{it,jt}$ é a participação do setor j no consumo intermediário do setor i e $CI_{it,jt}$ representa o que o setor i consumiu do setor j . A matriz de consumo intermediário setorial foi obtida a partir dos dados das tabelas de recursos e usos do Sistema de Contas Nacionais do IBGE, seguindo a metodologia proposta por Guilhoto (2011). O consumo intermediário intrasetorial, ou seja, o que o setor i consumiu dele próprio, foi definido para zero, de modo que a matriz de pesos tem valores iguais a zero na diagonal principal.

Em vista que há setores que depositam mais patentes do que outros, tanto o estoque de patentes como o de *spillovers* são expressos a partir da intensidade de patenteamento de cada setor, medidos para cada 100 empresas do setor.

$$PAT_{it} = \frac{P_{it}}{N_Empresas_{it}/100} \quad SPAT_{it} = \frac{SP_{it}}{N_Empresas_{it}/100} \quad (5)$$

3.3. Modelo de fronteiras estocásticas

O modelo de fronteira estocástica permite estimar uma função de produção cujo termo de erro é dividido em um componente aleatório (estocástico), v_{it} , que segue uma distribuição normal padrão; e um componente de ineficiência técnica, u_{it} , que segue uma distribuição seminormal, com média zero e variância constante. O termo u_{it} varia de 0 a $+\infty$, de modo que, quanto mais próximo de zero, maior a eficiência. As indústrias com eficiência igual a zero são as que estão na fronteira. Essas suposições sobre as distribuições de v_{it} e u_{it} são importantes para distinguir a ineficiência técnica do ruído padrão (Kumbhakar e Lovell, 2000).

A técnica identifica o produto máximo alcançável, dado o conjunto corrente de insumos e de tecnologia. O produto máximo do setor i no tempo t é representado pela função (Bos et al., 2010; Pieri et al., 2018):

$$Y_{it}^* = f(X_{it}; \beta) \exp(v_{it}) \quad (6)$$

onde X_{it} representa o conjunto de insumos, β é o vetor de parâmetros de tecnologia. A ineficiência é capturada pelo *gap* entre o produto máximo e o produto observado:

$$\begin{aligned}
 Y_{it}/Y_{it}^* &= \exp(-u_{it}) \\
 Y_{it} &= Y_{it}^* \exp(-u_{it}) = f(X_{it}; \beta) \exp(v_{it}) \exp(-u_{it}) \\
 Y_{it} &= f(X_{it}; \beta) \exp(\varepsilon_{it}) \\
 \varepsilon_{it} &= v_{it} - u_{it} \\
 v_{it} &\sim i.i.d. N(\mu, \sigma_v^2) \\
 u_{it} &\sim i.i.d. N(0, \sigma_u^2) \\
 i &= 1, \dots, 24; t = 2012, \dots, 2021
 \end{aligned} \tag{7}$$

Para atender os propósitos do estudo, utilizaremos o modelo de fronteiras estocásticas de efeitos fixos verdadeiros (*True-Fixed Effects*, TFE) proposto por Greene (2005). Esse modelo possibilita separar a heterogeneidade das indústrias, não variável no tempo, da ineficiência que varia com o tempo. Ou seja, heterogeneidades causadas por efeitos não variáveis no tempo, ora capturadas por u_{it} , são excluídas do termo de ineficiência. A equação (8) especifica a equação Cobb-Douglas⁹ estimada, em que as variáveis em caixa alta estão expressas em logaritmo natural:

$$VBP_{it} = \beta_1 Cl_{it} + \beta_2 K_{it} + \beta_3 L_{it} + PTF_{it} + \alpha_i + \gamma_t + v_{it} \tag{8}$$

em que VBP_{it} representa o valor bruto da produção, Cl_{it} é o consumo intermediário, K_{it} é o estoque de capital e L_{it} é o número médio de trabalhadores. Também foram incluídos efeitos fixos de setor (α_i) e de ano (γ_t).

Nesse modelo, a produtividade total dos fatores é uma combinação de quatro fatores, como pode observado na equação (9). O primeiro deles é o de acúmulo de conhecimento, representado pelo estoque de patentes por 100 empresas (PAT_{it}), que também capturam os *spillovers* intrasetoriais. O segundo canal é representado pelos *spillovers* intersetoriais por 100 empresas ($SPAT_{it}$), que captura como o acúmulo de conhecimento de outros setores afeta a produtividade do setor i . O terceiro canal mede a extensão em que as patentes afetam o progresso técnico, ou seja, a capacidade deslocar a fronteira de produção. Esse efeito é capturado pelos termos de tendência e de interação entre a tendência e o estoque de patentes e de *spillovers* intersetoriais.

$$\begin{aligned}
 PTF_{it} = & \underbrace{\theta_1 PAT_{it}}_{\text{Acúmulo de conhecimento}} + \underbrace{\theta_2 SPAT_{it}}_{\text{Spillovers}} + \underbrace{\rho_1 t + \rho_2 tpat_{it} + \rho_3 t spat_{it}}_{\text{Progresso técnico}} - \underbrace{u_{it}}_{\text{Ineficiência}}
 \end{aligned} \tag{9}$$

O quarto canal é o da ineficiência, que mede a extensão em que o acúmulo de conhecimento e os *spillovers* intersetoriais conseguem afetar a alocação de insumos. A estimação dos efeitos de fatores exógenos que afetam o componente de ineficiência técnica pode se dar de duas formas: 1) método de dois estágios: estima-se a fronteira estocástica e obtém-se os coeficientes de ineficiência técnica, em seguida, os coeficientes são regredidos contra seus determinantes; ou 2) método de um estágio: o conjunto de variáveis exógenas Z é incorporado diretamente na estimação por máximo verossimilhança.

Utiliza-se nesse estudo o método de um estágio, proposto por Wang e Schmidt (2002). Esse método visa corrigir os problemas de inconsistência e viés gerados pelo primeiro método, visto que, no primeiro passo, assume-se que esse componente é independente e identicamente distribuído, enquanto no segundo, passa a depender de variáveis explicativas.

A função que determina os fatores exógenos que afetam a ineficiência técnica é especificada na equação (10). Nessa equação, o estoque de patentes e de *spillovers* intersetoriais afetam a ineficiência

⁹ A função translog também foi testada. No entanto, nenhum dos coeficientes dos termos cruzados foi significativo. Por conta disso, são apresentados os resultados apenas da função Cobb-Douglas.

por meio da variância do termo de ineficiência (σ_u^2).

$$\log(\sigma_{u,it}^2) = \psi_1 + \psi_2 PAT_{it} + \psi_3 SPAT_{it} \quad (10)$$

4. Resultados

A Tabela 2 apresenta os valores médios da produtividade por trabalhador, do estoque de patentes e de *spillovers* dos setores industriais. Os setores de Petróleo e biocombustíveis, Metalurgia e Químicos são, respectivamente, os que apresentam maior produtividade média na indústria de transformação. Os setores de Petróleo e biocombustíveis, Máquinas e materiais elétricos e Fumo são os mais intensivos em patentes. Enquanto isso, os setores de Fumo, Farmacêuticos e Petróleo e biocombustíveis são os que mais absorvem *spillovers* intersetoriais.

Tabela 2. Valores médios de produtividade do trabalho, estoque de patentes e *spillovers* – 2012-2021

Código	CNAE	Produtividade do trabalho (R\$ mil por trabalhador)	Estoque de patentes por 100 empresas	<i>Spillovers</i> por 100 empresas
10	Alimentos	626,7	1,8	5,5
11	Bebidas	572,2	4,8	79,9
12	Fumo	755,5	112,3	751,5
13	Têxteis	292,2	9,3	28,8
14	Vestuário	114,9	0,8	2,7
15	Couro e calçados	140,9	9,1	16,3
16	Madeira	282,6	2,6	18,3
17	Celulose e papel	818,3	18,3	45,3
18	Impressão e reprodução	249,3	4,5	19,9
19	Petróleo e biocombustíveis	2.858,4	315,5	250,9
20	Químicos	1.568,8	33,2	18,8
21	Farmacêuticos	662,1	101,6	292,9
22	Borracha e plástico	477,6	21,9	16,6
23	Minerais não metálicos	302,7	3,4	7,8
24	Metalurgia	1.965,9	24,5	54,7
25	Produtos de metal	349,4	8,7	3,9
26	Informática, eletrônicos e ópticos	849,4	94,7	109,5
27	Máquinas e materiais elétricos	585,5	134,2	42,8
28	Máquinas e equipamentos	555,2	74,4	14,9
29	Veículos automotores	852,6	53,3	38,1
30	Outros equipamentos de transporte	643,3	66,1	239,7
31	Móveis	213,4	4,8	9,0
32	Produtos diversos	250,5	25,5	14,4
33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	262,6	7,7	41,6
C	Indústria de transformação	614,8	16,3	17,4

Fonte: Elaboração própria, a partir de dados da PIA-Empresa/IBGE e do INPI.

Nota: A produtividade do trabalho foi calculada como valor bruto da produção dividido pelo número de trabalhadores. Os valores estão expressos a preços de 2021.

Pode-se observar que os setores que apresentam maior produtividade têm maior propensão a serem mais intensivos em patentes. A correlação entre essas duas variáveis é de 70,8%. Entre os dez setores com maior produtividade, sete estão entre os dez mais intensivos em patenteamento, são eles: Petróleo e biocombustíveis, Químicos, Veículos automotores, Informática, eletrônicos e ópticos, Fumo, Farmacêuticos e Outros equipamentos de transporte, respectivamente.

Observa-se, também, que todos os setores de maior intensidade tecnológica estão entre os dez setores de maior intensidade de patenteamento. Os setores de Químicos, Farmacêuticos, Informática, eletrônicos e ópticos, Máquinas e materiais elétricos, Máquinas e equipamentos, Veículos automotores e Outros equipamentos de transporte são os de alta e média-alta intensidade tecnológica, de acordo com a classificação de Galindo-Rueda e Verger (2016).

A Tabela 3 apresenta os resultados do modelo estimado, levando em conta apenas *spillovers* intrasetoriais, absorvidos por meio do acúmulo de conhecimento. Ou seja, nesse modelo, não foi levado em conta *spillovers* intersetoriais. A coluna (1) mostra o modelo sem impacto do estoque de patentes e sem determinantes do progresso técnico e da ineficiência. Os modelos são estendidos nas demais colunas, incluindo o canal de acúmulo de conhecimento (2), o efeito no progresso técnico (3) e o efeito na ineficiência (4). A equação de referência é a apresentada na coluna (4).

Tabela 3. Impacto das patentes na produtividade e na eficiência (modelo sem *spillovers* intersetoriais)

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel A: Função de produção, Variável dependente $\ln(VBP)$</i>				
$\ln(CI)$	0,253018*** (0,051930)	0,219800 (0,138501)	0,218978* (0,115701)	0,222245** (0,100026)
$\ln(K)$	0,239596*** (0,045220)	0,212670*** (0,030540)	0,212239** (0,106233)	0,215792*** (0,025717)
$\ln(L)$	0,497404*** (0,049453)	0,446207** (0,201433)	0,445606*** (0,094457)	0,453102*** (0,138442)
$\ln(PAT)$		1,112991*** (0,062951)	1,117266*** (0,111228)	1,118029*** (0,029009)
t	-0,009487** (0,003932)	-0,013695** (0,005793)	-0,023603*** (0,008308)	-0,018293*** (0,006668)
$t \times PAT$			0,000174*** (0,000052)	0,000142*** (0,000055)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel B: Equação de ineficiência, Variável dependente $\log(\sigma_u(u, it)^2)$</i>				
$\ln(PAT)$				-0,295665*** (0,076028)
Constante	-4,289800 (0,000000)	-2,926799*** (0,223539)	-2,998127 (0,000000)	-2,243067*** (0,267873)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel C: Variável dependente $\log(\sigma_v(v, it)^2)$</i>				
Constante	-33,711048 (86,947497)	-32,045127 (64,861689)	-31,173389 (106,246278)	-29,940809 (55,885805)
Log-verossimilhança	340,5581	177,0257	185,6281	196,3862
Observações	240	240	240	240
Nº de CNAEs	24	24	24	24

Notas: Os desvios-padrão estão reportado entre parênteses. *, ** e *** representam, respectivamente, rejeição da hipótese nula aos níveis de significância de 10%, 5% e 1%. Todas as especificações incluem efeitos fixos de setor e ano. Os coeficientes da função de produção estão expressos em termos de elasticidade da produção.

De modo geral, os resultados da Tabela 3 mostram que gerar mais inovações permite que as indústrias de transformação se tornem mais produtivas. Observa-se que o acúmulo de patentes aumenta mais do que proporcionalmente a produtividade. O aumento de 1% no estoque de patentes por cada 100 firmas, eleva em 1,11% a produção industrial.

O estoque de patentes também consegue deslocar a fronteira de produção, aumentando as vantagens competitivas das firmas que estão próximas dela e disponibilizando tecnologias de ponta para melhorar o processo produtivo. Além disso, a dispersão da ineficiência também é reduzida. Ou seja, ao acumular mais patentes, os setores industriais conseguem não só deslocar a fronteira tecnológica, mas

também ficar mais próximos dela.

No entanto, os *spillovers* não ocorrem apenas de forma intrasetorial, como no modelo apresentado na Tabela 3. Espera-se que a inovação de um setor gere ganhos de produtividade não apenas nele próprio, mas também nos demais setores industriais, por meio do consumo intermediário.

Tabela 4. Impacto das patentes na produtividade e na eficiência (modelo com *spillovers* intersetoriais)

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel A: Função de produção, Variável dependente $\ln(VBP)$</i>				
$\ln(CI)$	0,252810*** (0,051992)	0,185697*** (0,063033)	0,197372 (0,149873)	0,191759*** (0,057517)
$\ln(K)$	0,239443*** (0,052494)	0,188236*** (0,034514)	0,194771 (0,121667)	0,193358*** (0,014546)
$\ln(L)$	0,497778*** (0,049081)	0,426212*** (0,138238)	0,442989*** (0,103174)	0,438721*** (0,113217)
$\ln(PAT)$		0,866965*** (0,027511)	0,641649*** (0,157008)	0,867491*** (0,027853)
$\ln(SPAT)$		0,919875*** (0,013102)	0,758214*** (0,225090)	0,949412*** (0,017751)
t	-0,008021* (0,004262)	-0,010432 (0,008140)	-0,024125*** (0,008172)	-0,027154*** (0,007047)
$t \times PAT$			0,000086 (0,000058)	0,000111* (0,000062)
$t \times SPAT$			0,000112*** (0,000025)	0,000117*** (0,000038)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel B: Equação de ineficiência, Variável dependente $\log(\sigma_{-}(u, it)^2)$</i>				
$\ln(PAT)$				-0,701867*** (0,104165)
$\ln(SPAT)$				0,636749*** (0,125162)
Constante	-4,282256 (0,000000)	-2,388775*** (0,131146)	-228,951749 (0,000000)	-2,959457*** (0,370031)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel C: Variável dependente $\log(\sigma_{-}(v, it)^2)$</i>				
Constante	-33,934288 (103,964062)	-32,393225 (72,958381)	-3,976196*** (0,176872)	-28,224990 (37,964721)
Log-verossimilhança	340,5581	112,4529	131,4941	158,4804
Observações	240	240	240	240
Nº de CNAEs	24	24	24	24

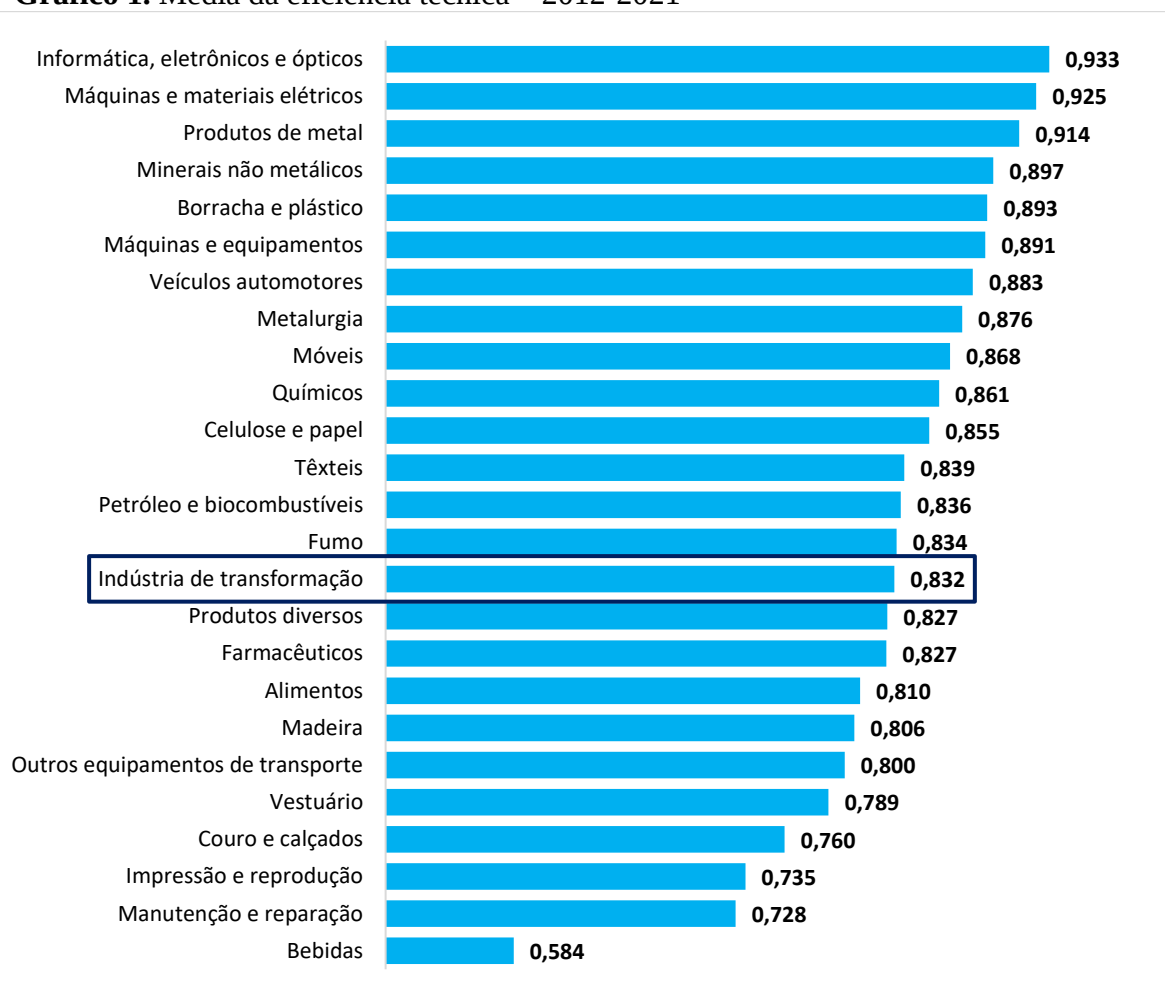
Notas: Os desvios-padrão estão reportado entre parênteses. *, ** e *** representam, respectivamente, rejeição da hipótese nula aos níveis de significância de 10%, 5% e 1%. Todas as especificações incluem efeitos fixos de setor e ano. Os coeficientes da função de produção estão expressos em termos de elasticidade da produção.

A Tabela 4 apresenta os resultados do modelo com *spillovers* intersetoriais. Novamente, a coluna (1) traz o modelo mais simples, sem impacto do estoque de patentes e de *spillovers*. A coluna (2) estende o modelo, incluindo os efeitos do acúmulo de conhecimento e de *spillovers*. As colunas (3) e (4) acrescentam, respectivamente, o efeito dessas variáveis sob os canais do progresso técnico e da ineficiência.

Tomando a coluna (4) como referência, observa-se que os *spillovers* intersetoriais afetam positivamente a produtividade, bem como conseguem deslocar a fronteira de produção para cima. Nota-se que a elasticidade do acúmulo de conhecimento do setor reduziu de 1,11% do modelo sem *spillovers* para 0,86% no modelo com *spillovers* intersetoriais. Isso pode se dar pelo fato de, no modelo com *spillover* intersetoriais, considerar-se que o setor i , além de gerar *spillovers* para o próprio setor, também gera para os demais setores.

Em relação ao canal da eficiência, enquanto o acúmulo de patentes é capaz de reduzir a dispersão dos setores em relação à fronteira, os *spillovers* aumentam essa dispersão. Isso não significa que as inovações dos fornecedores geram ineficiências em todos os setores, mas que há setores que têm mais dificuldade absorver novas tecnologias. Ao se defrontar com novas tecnologias, é esperado que haja um custo de adaptação, de modo que algumas firmas conseguem absorver mais rapidamente que outras.

Gráfico 1. Média da eficiência técnica – 2012-2021



Fonte: Cálculos próprios a partir de dados da PIA-Empresa / IBGE e do INPI.

Nota: eficiência técnica obtida via $\exp(-E(u|\varepsilon))$.

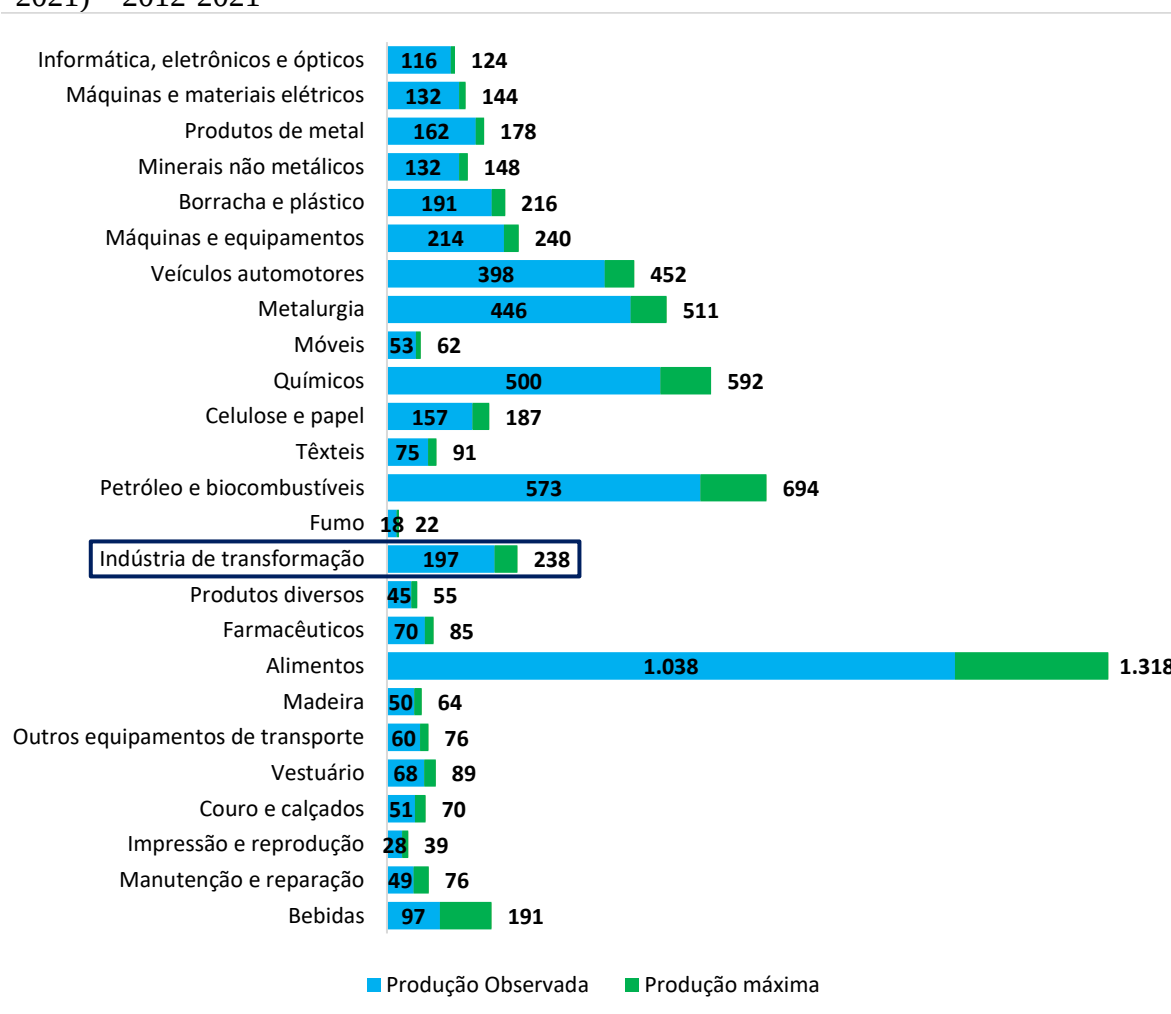
O Gráfico 1 mostra os valores médios da eficiência técnica, obtidos via $\exp(-E(u|\varepsilon))$. Já o Gráfico 2 apresenta os níveis médios de produção observados e o máximo, obtido a partir da estimação do modelo. Esses dados são relevantes para identificar os setores que apresentam menor dispersão em relação à fronteira de produção, ou seja, que são mais eficientes na alocação dos insumos.

Os dados mostram que os setores de Informática, eletrônicos e ópticos e de Máquinas e materiais elétricos são os que possuem maior eficiência técnica, ambos setores de alta e média-alta intensidade tecnológica. As diferenças entre a produção máxima e a observada são, em média, de R\$ 8 e R\$ 12 bilhões, respectivamente.

Observa-se que três dos cinco setores com maior eficiência são de média-baixa intensidade tecnológica, são eles: Produtos de metal, Minerais não metálicos e Borracha e plástico. Os setores apresentaram, em média, diferenças de R\$ 25, R\$ 16 e R\$ 15 bilhões entre a produção máxima e a observada. Estes setores se mostraram altamente eficientes, embora não sejam intensivos em patentes.

Destaca-se, também, o gap do setor de Bebidas. O setor é o que apresentou menor índice de eficiência técnica. O setor tem uma eficiência técnica 20% menor que o penúltimo colocado do ranking, o setor de Manutenção e Reparação, e 30% menor que a média da indústria de transformação. O setor também é um dos menos intensivos em patentes, com média de apenas 4,8 patentes por cada 100 empresas.

Gráfico 2. Média da produção máxima e da produção observada (R\$ bilhões a preços de 2021) – 2012-2021



Fonte: Cálculos próprios a partir de dados da PIA-Empresa / IBGE e do INPI.

Nota: a produção máxima foi obtida a partir da equação (7).

Esses resultados estão em linha com os encontrados por Kim et al. (2009), Guo (2014) e Sanchis et al. (2014). Os autores encontraram efeitos positivos do acúmulo de patentes e de *spillovers* para a Coreia do Sul, Japão, Estados Unidos, França, Alemanha, Reino Unido e Espanha. O alinhamento com os resultados de Kim et al. (2009) é ainda mais relevante, dado que os autores também testaram os efeitos do estoque de patentes e de *spillovers* a nível setorial para a indústria de transformação.

Assim como Montinari e Rochlitz (2012), os resultados desse estudo apontam para um aumento de eficiência a partir do acúmulo de patentes. No entanto, por conta do tamanho da amostra, não foi possível realizar os testes dividindo a amostra de acordo com a intensidade tecnológica, como os autores fizeram.

Como o estoque de patentes testado nesse estudo levou em consideração apenas as patentes depositadas por residentes, os resultados divergem dos encontrados por Aguiar et al. (2017). Os autores encontraram efeitos negativos das patentes depositadas por residentes sobre a eficiência técnica.

4.1 Teste de robustez

Como observado na Tabela 2, os setores de Fumo, Petróleo e biocombustíveis e Máquinas e materiais elétricos possuem os mais altos estoques de patentes por firma. A fim de testar a robustez dos resultados reportados na Tabela 4, esses três setores foram retirados da amostra. Os resultados desse teste estão apresentados na Tabela 5.

Os resultados mostram que os efeitos das patentes na produção via acúmulo de patentes e de *spillovers* intersetoriais não apresentaram grandes mudanças, em relação aos apresentados na Tabela 4.

O efeito sobre o progresso técnico se mantém positivo e significativo sobre o acúmulo de patentes, porém o efeito de *spillovers* intersetoriais não foi significativo. O setor de Petróleo e biocombustíveis é responsável por cerca de 17,5% dos insumos manufaturados consumidos pela indústria de transformação¹⁰. É possível que as patentes desse setor sejam as mais importantes para o deslocamento da fronteira, via *spillovers*.

Tabela 5. Impacto das patentes na produtividade e na eficiência (teste de robustez)

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel A: Função de produção, Variável dependente $\ln(VBP)$</i>				
$\ln(CI)$	0.255173*** (0.062660)	0.208376* (0.109466)	0.198659** (0.098034)	0.198640** (0.092886)
$\ln(K)$	0.237566* (0.122748)	0.203473*** (0.037515)	0.196959*** (0.038969)	0.198591* (0.114985)
$\ln(L)$	0.487594*** (0.039530)	0.453652*** (0.142669)	0.440611*** (0.125277)	0.443210*** (0.163540)
$\ln(PAT)$		0.513423*** (0.180867)	0.672819*** (0.200405)	0.831017*** (0.262752)
$\ln(SPAT)$		0.738956*** (0.167256)	0.834842*** (0.189712)	0.967061*** (0.215332)
T	-0.012668* (0.007484)	-0.015145*** (0.005248)	-0.021255*** (0.006867)	-0.031414*** (0.007937)
t x PAT			0.000072 (0.000167)	0.000436*** (0.000157)
t x SPAT			0.000085 (0.000072)	-0.000063 (0.000064)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel B: Equação de ineficiência, Variável dependente $\log(\sigma_{-}(u, it)^2)$</i>				
$\ln(PAT)$				-1.524627*** (0.535260)
$\ln(SPAT)$				1.368501*** (0.325724)
Constante	-83.146435 (0.000000)	-400.034824 (0.000000)	-154.062280 (0.000000)	-4.004342 (0.000000)
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Painel C: Variável dependente $\log(\sigma_{-}(v, it)^2)$</i>				
Constante	-5.142265 (0.000000)	-3.959095*** (0.213990)	-3.733559*** (0.166397)	-5.072869*** (0.569232)
Log-verossimilhança	241,9649	120,6561	94,2171	110,9638
Observações	210	210	210	210
Nº de CNAEs	21	21	21	21

Notas: Os desvios-padrão estão reportado entre parênteses. *, ** e *** representam, respectivamente, rejeição da hipótese nula aos níveis de significância de 10%, 5% e 1%. Todas as especificações incluem efeitos fixos de setor e ano. Os coeficientes da função de produção estão expressos em termos de elasticidade da produção. Para teste de robustez, foram excluídos da amostra os setores de Fumo, Petróleo e biocombustíveis e de Máquinas e materiais elétricos, os três setores com mais altos estoques de patentes por firma.

Em relação à eficiência técnica, os sinais e a significância dos parâmetros se mantiveram inalterados. O acúmulo de patentes continua reduzindo a dispersão dos setores em relação à fronteira, enquanto os *spillovers* intersetoriais aumentam essa dispersão. Contudo, os coeficientes aumentaram, em módulo. Isso pode indicar que o efeito de uma nova patente em setores com menores estoques, é

¹⁰ Percentual obtido por meio da matriz de consumo intermediário de 2021, calculada de acordo com Guilhoto (2011). O percentual foi calculado considerando apenas os insumos fornecidos pelos 24 setores da indústria de transformação.

mais relevante do que em setores com maiores estoques. Ao mesmo tempo, os efeitos de *spillovers* intersetoriais também demandam maior capacidade de adaptação nos setores menos intensivos em patentes.

5. Conclusões e implicações para políticas públicas

Este trabalho teve por objetivo investigar o efeito da intensidade de patenteamento sobre a produtividade dos setores da indústria de transformação brasileira por meio de quatro canais: acúmulo de conhecimento, *spillovers* intersetoriais, progresso técnico e eficiência técnica. Para determinar o efeito de cada canal de transmissão, utilizou-se o modelo de fronteiras estocásticas proposto por Wang e Schmidt (2002) e Greene (2005).

Os principais resultados apontam para um crescimento de produtividade tanto pelo canal de acúmulo de conhecimento, ou seja, pelo acúmulo de patentes dos setores, como por meio de *spillovers* intersetoriais, absorvidos via consumo intermediário. Esses dois fatores também conseguem deslocar a fronteira de produção para cima, melhorando as tecnologias à disposição para a produção e ampliando as vantagens competitivas das firmas mais próximas da fronteira.

Em relação ao canal da eficiência, o modelo conseguiu capturar o efeito do patenteamento sobre a capacidade de evitar desperdícios na produção. Observou-se que o acúmulo de patentes é capaz de reduzir a dispersão dos setores em relação à fronteira, ou seja, há um aumento no número de firmas mais próximas da fronteira, portanto com processos produtivos mais eficientes. Os *spillovers* intersetoriais, no entanto, aumentam a dispersão em relação à fronteira. Isso significa que há setores que absorvem as novas tecnologias de seus fornecedores com mais facilidade que outros.

Dado o baixo conhecimento sobre o sistema de propriedade intelectual e baixo volume de patenteamento de empresas brasileiras, o governo federal instituiu, em 2021, a Estratégia Nacional de Propriedade Intelectual (ENPI). A política tem o intuito de tornar o sistema de propriedade intelectual brasileiro efetivo e equilibrado, a fim de alavancar a competitividade e o desenvolvimento econômico e social. Entre os eixos de atuação da ENPI¹¹ estão difundir informações sobre direitos de propriedade intelectual para os diversos setores da economia; incluir a propriedade intelectual como disciplina dos cursos de graduação, buscando difundir o valor estratégico e comercial do tema; propagar a cultura exportadora, visando ampliar a quantidade de firmas exportadoras intensivas em direitos de propriedade intelectual.

Em 2023, o governo brasileiro lançou o programa Mais Inovação¹², que soma investimentos de R\$ 66 bilhões, entre 2023 e 2026. O programa contará com linhas de financiamento reembolsáveis e não reembolsáveis no BNDES e na Finep.

Ambas as políticas têm por objetivo aumentar a produtividade e competitividade do país, ao incentivar o investimento em inovação e o depósito de patentes. Os resultados desse trabalho são importantes para aperfeiçoar as políticas de inovação, visto que evidenciam a importância do sistema de propriedade intelectual para o crescimento da produtividade. Por meio das patentes, as empresas conseguem se manter na fronteira tecnológica, agregando mais valor à economia e se tornando mais eficientes.

6. Referências

ABRAMOVITZ, M. Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind. **The Journal of Economic History**, v. 46, n. 2, p. 385–406. 1986.

AGUIAR, D.; COSTA, L.; SILVA, E. An attempt to explain differences in economic growth: a stochastic frontier approach. **Bulletin of Economic Research**, v. 69, n. 4, p. E42-E65. 2017.

¹¹ Para mais informações, ver o texto do Decreto nº 10.886/2021. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/d10886.htm. Acesso em: 29/11/2023.

¹² Mais informações disponíveis em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/08/mcti-vai-aportar-r-41-bilhoes-no-programa-mais-inovacao-brasil>. Acesso em: 29/11/2023.

- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, v. 6, n. 1, p. 21–37. 1977.
- ALVAREZ, R; CRESPI, G. Determinants of Technical Efficiency in Small Firms. **Small Business Economics**, v. 20, n. 3, p. 233–244. 2003.
- ALVES, P. S. M. Mensuração e fontes de eficiência técnica da indústria de transformação: um estudo de caso para o Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Economia**, v. 42, n. 2, p. 195-214. 1998.
- BANKER, R. D., A. CHARNES, AND W. W. COOPER. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, v. 30, n. 9, p. 1078–92. 1984.
- BERGHÄLL, P. E. R&D vs. Other Factor Inputs in a High-Tech Industry. **Industry and Innovation**, v.19, n. 2, p. 127-153. 2012.
- BITZER, J.; GÖRG, H. Foreign Direct Investment, Competition and Industry Performance. **The World Economy**, v. 32, n. 2, p. 221-233. 2009.
- BLS. Total Factor Productivity – 2022. **Bureau of Labor Statistics**, U.S. Department of Labor. 2023.
- BOS, J. W. B.; ECONOMIDOU, C.; KOETTER, M. Technology clubs, R&D and growth patterns: Evidence from EU manufacturing. **European Economic Review**, v. 54, n. 1, p. 60-79. 2010.
- BRAGA, H. C.; ROSSI, J. W. Mensuração da eficiência técnica na indústria brasileira: 1980. **Revista Brasileira de Economia**, v. 40, n. 1, p. 89-118. 1986.
- BRANDÃO, L.G. L.; EHRL, P. International R&D spillovers to the electric power industries. **Energy**, v. 182, n. 1, p. 424-432. 2019.
- CASTELLACCI, F. A Neo-Schumpeterian Approach to Why Growth Rates Differ. **Revue Économique**, v. 55, n. 6, p. 1145–1169. 2004.
- CHANG, CL.; ROBIN, S. Knowledge sourcing and firm performance in an industrializing economy: the case of Taiwan (1992–2003). *Empirical Economics* v.42, p. 947–986. 2012.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the Efficiency of Decision-Making Units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429–44. 1978.
- COE, D. T.; HELPMAN, E. International R&D spillovers. **European Economic Review**, v. 39, n. 5, p. 859-887. 1995.
- DEBREU, G. The Coefficient of Resource Utilization. **Econometrica**, v. 19, n. 3, p. 273–92. 1951.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A(General)**, v. 120, n. 3, p. 253–290. 1957.
- FURTADO, A.; QUEIROZ, S. A construção de indicadores de inovação. *Revista Inovação Uniemp*, n. 2, p. 26-28, 2005.
- FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. Efficiency and Productivity. In: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (ed.). **The Measurement of Productive Efficiency and**

Productivity Growth. Oxford University Press, 2008, p. 3-91.

GALINDO-RUEDA, F.; VERGER, F. OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity. **OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2016/04.** Paris: OECD Publishing, 2016.

GREENE, W. Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model. **Journal of Econometrics**, v. 126, n. 2, p. 269–303. 2005.

GREENE, W. The econometric approach to efficiency analysis. In: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (ed.). **The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth.** Oxford University Press, 2008, p. 92-250.

GRILICHES, Z. Research cost and social returns: hybrid corn and related innovations. **Journal of Political Economy**, v. 66, n. 5, p. 419-431. 1958.

GUILHOTO, J. J. M. Input-Output Analysis: Theory and Foundations. **MPRA Paper No. 32566.** 2011.

GUO, J. On the spillovers between patents and innovation in Japan. **Journal of Economics and Finance**, v. 39, p. 590-605. 2015.

HALL, B. H. Patents and patent policy. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 23, n. 4, p. 568-587. 2007.

KIM, T; MASKUS, K. E.; OH, K. Y. Effects of patents on productivity growth in korean manufacturing: a panel data analysis. **Pacific Economic Review**, v. 14, n. 2, p. 137-154. 2009.

KOOPMANS, T. C. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. In: KOOPMANS, T. C. (ed.). **Activity Analysis of Production and Allocation.** Cowles Commission for Research in Economics Monograph No. 13. New York: JohnWiley and Sons, 1951.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic Frontier Analysis.** Cambridge University Press, 2000.

LAMBERT, D. K.; PARKER, E. Productivity in Chinese provincial agriculture. **Journal of Agricultural Economics**, v. 49, n. 3, p. 378-392.1998.

LEIBENSTEIN, H.; MAITAL, S. Empirical Estimation and Partitioning of X-Inefficiency: A Data-Envelopment Approach. **The American Economic Review**, v. 82, n. 2, p. 428-433. 1992.

MAZORODZE, B. Trade and efficiency of manufacturing industries in South Africa, **The Journal of International Trade & Economic Development**, v. 19, n. 1, p. 89-118. 2020.

MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. **International Economic Review**, v. 18, n. 2, p. 435–444. 1977.

MENDONÇA, M. J. C.; PEREIRA, R. M.; PINNA, B. Uma análise da produtividade da indústria brasileira. Nota técnica nº 19, Brasília: IPEA. 2020.

MONTINARI, L.; ROCHLITZ, M. Absorptive Capacity and Efficiency: A Comparative Stochastic Frontier Approach Using Sectoral Data. **EIC working paper series #4/2012 IMT Institute for**

Advanced Studies, Lucca. ISSN 2279-6894. 2012.

OCDE. **Measuring Productivity - OECD Manual: Measurement of Aggregate and Industry-level Productivity Growth**, Paris: OECD Publishing, 2001.

OCDE. **Oslo Manual-Guidelines for collecting and interpreting innovation data**, Paris: OECD Publishing, 2005.

OCDE. **OECD innovation strategy 2015: An agenda for policy action**, Paris: OECD Publishing, 2015.

OLESEN, O. B.; PETERSEN, N. C. Stochastic Data Envelopment Analysis—A Review. **European Journal of Operational Research**, v. 251, n. 1, p. 2–21. 2016.

PIERI, F.; VECCHI, M.; VENTURINI, F. Modelling the joint impact of R&D and ICT on productivity: A frontier analysis approach. **Research Policy**, v. 47, n. 9, p. 1842-1852. 2018.

PORTER, M. Capital disadvantage: America's failing capital investment system. **Harvard Business Review**, v. 70, pp. 65–82. 1992.

PÖSCHL, J.; FOSTER-MCGREGOR, N.; STEHRER, R. International R&D spillovers and business service innovation. **The World Economy**, v.39, n. 12, p. 2025-2045. 2016.

RIGITANO, A. O.; NASCIMENTO, S. P.; CAMARA, M. R. G. Diferenças na produção e produtividade da indústria entre as regiões e setores no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Economia de Empresas**, v. 13, n. 2, p. 67-96. 2013.

ROMER, P. M. Increasing Returns and Long-Run Growth. **Journal of Political Economy**, v. 94, n. 5, p. 1002–1037. 1986.

ROSENBERG, N. **Innovation and economic growth**, OECD. 2004.

SANCHIS, T.; SANCHIS-LLOPIS, J. A.; ESTEVE, V.; CUBEL, A. Total factor productivity, domestic knowledge accumulation, and international knowledge spillovers in the second half of the twentieth century. **Cliometrica**, v.9, p. 209-233. 2015.

SCHETTINI, D. **Eficiência produtiva da indústria de transformação nas regiões brasileiras: uma análise de fronteiras estocásticas e cadeias espaciais de Markov**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SCHUMPETER, J. A. **The theory of economic development**. Cambridge: Harvard University Press, 1911.

SHEPHARD, R. W. **Cost and Production Functions**. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1953.

SOLOW, R. Technical change and the aggregate production function, **The Review of Economics and Statistics**, v. 39, n. 3, p. 312–320. 1957.

SOUZA, E. C.; PINTO, L. B. T. Investimento direto estrangeiro e produtividade nos setores da indústria brasileira. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 45, n. 1, p.59-100. 2015.

STEVENSON, R. F. Likelihood Functions for Generalized Stochastic Frontier Estimation. **Journal of**

Econometrics, v. 13, p. 57–66. 1980.

SUN, H.; HONE, P.; DOUCOULIAGO, H. Economic Openness and Technical Efficiency: A Case Study of Chinese Manufacturing Industries. **The Economics of Transition**, v. 7, n. 3, p. 615–636. 1999.

TORRISI, S.; GAMBARDELLA, A.; GIURI, P.; HARHOFF, D.; HOISL, K.; MARIANI, M. Used, blocking and sleeping patents: Empirical evidence from a large-scale inventor survey. **Research policy**, v. 45, n. 7, p. 1374-1385. 2016.

WANG, H., SCHMIDT, P. One-Step and Two-Step Estimation of the Effects of Exogenous Variables on Technical Efficiency Levels. **Journal of Productivity Analysis**, v. 18, p. 129–144. 2002.

WANG, M.; CHEN, Y.; ZHOU, Z. A Novel Stochastic Two-Stage DEA Model for Evaluating Industrial Production and Waste Gas Treatment Systems. **Sustainability**, v. 12, n. 6, 2316. 2020.