

# AS INTERAÇÕES ENTRE CRESCIMENTO ECONÔMICO E INOVAÇÃO NOS PAÍSES DA OCDE: UMA ABORDAGEM COM MODELAGEM PVAR

JOSÉ ALDERIR DA SILVA \*  
José Luís da Silva Netto Junior †  
CÁSSIO DA NOBREGA BESARRIA ‡

## Resumo

A inovação é um fator fundamental para o crescimento econômico dentro da teoria do crescimento endógeno. Assim, o objetivo deste artigo será avaliar os efeitos de choques em algumas variáveis relacionadas com a produção de tecnologia sobre a produção de conhecimento e a renda per capita nos países da OCDE entre 1980 e 2017. Para isso, será utilizado o método *Panel Data Vector Autoregressive* (PVAR). Os resultados mostram que um choque favorável no estoque de ideias, capital físico e gastos em P&D nos países da OCDE provocam efeitos positivos sobre o PIB *per capita*. A variável *spillover* mostrou que as economias da OCDE podem se beneficiar de um processo de difusão de tecnologia.

**Palavras-chave:** difusão tecnológica; progresso técnico; patentes.

## Abstract

Innovation is a fundamental factor for economic growth within the endogenous growth theory. Thus, the objective of this article will be to evaluate the shock effects on some variables related to the production of technology on knowledge production and per capita income in OECD countries between 1980 and 2017. For this, the Panel Data Vector Autoregressive (PVAR) method will be used. The results showed us that a favorable shock to the expenditure of ideas in R&D has positive effects on the OECD GDP. A spillover variable showed that OECD economies can benefit from a technology diffusion process.

**Keywords:** technological diffusion; technical progress; patents.

**JEL classification:** O30, O32, F43, C23

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.11606/1980-5330/ea191246>

---

\* Departamento de Engenharia (DENG) da UFERSA/Campus Angicos. E-mail: jose.silva@ufersa.edu.br

† Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: juniorluis@yahoo.com.br

‡ Universidade Federal da Paraíba (UFPB). E-mail: cassiodanobrega@yahoo.com.br

## 1 Introdução

A teoria do crescimento depois de Solow (1957) passou por transformações essenciais para se entender a dinâmica e as diferenças de renda *per capita* entre os países. Essas transformações foram impulsionadas pela busca de explicar os fatores que determinam o progresso tecnológico, ou seja, as forças internas que determinam o crescimento da renda *per capita* no longo prazo.

Contudo, ao não conseguir explicar essas forças internas, segundo Barro e Sala-i-Martin (2003), a teoria do crescimento econômico perdeu relevância para as teorias que explicam o ciclo da renda no curto prazo. Porém, no pós década de 1980, volta a ganhar importância com o surgimento dos modelos de crescimento endógeno de Romer (1990), Lucas Jr (1988), Grossman e Helpman (1991), Aghion e Howitt (1990) e Jones (1995), os quais passam a se preocupar em entender tais fatores.

Diante disso, quais os fatores que determinam o crescimento econômico? Na teoria do crescimento exógeno, a produtividade total dos fatores é o motor do crescimento econômico no longo prazo, sendo ela determinada por um avanço tecnológico não explicado pela teoria. Na teoria do crescimento endógeno, a tecnologia é considerada um insumo de produção, de modo que a acumulação de conhecimento aumenta a produtividade dos outros insumos, podendo gerar retornos crescentes de escala. Assim, produtividade e inovação tecnológica estão fortemente relacionados, sendo imprescindível entender esse processo de acumulação de conhecimento nas economias para poder entender as diferenças existente nos padrões de vida entre os países.

A teoria do crescimento econômico desenvolvida por Romer (1990) apresenta uma função de produção com rendimentos crescentes de escala que ocorrem por meio de dois processos: *learning by doing* e *spillover* de conhecimento. Enquanto o primeiro desenvolve o conhecimento a nível de empresa, o *spillover* difunde esse conhecimento gerado para toda a economia. No entanto, Jones (1995) parte de uma função de produção de ideias em que o modelo de Romer se torna um caso particular, isto é, um modelo que permite a possibilidade que um esforço de pesquisa constante sustente um crescimento de longo prazo, mas também permite a possibilidade de casos contrários.

Todavia, conforme Barro e Sala-i-Martin (1992), a teoria do crescimento econômico mostra que pode ocorrer uma espécie de convergência do PIB *per capita* entre os países ricos e pobres, em que os rendimentos decrescentes é um conceito chave nesse processo. Dentro de uma perspectiva de difusão tecnológica, Grossman e Helpman (1991) mostram que a velocidade de convergência tende a ser maior quanto mais rápida as descobertas realizadas nas economias inovadoras se difundirem para as economias seguidoras.

Portanto, o objetivo deste artigo será de avaliar os efeitos de choques de variáveis relacionadas com a inovação tecnológica sobre a produção de conhecimento e sobre o PIB *per capita* para os países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) no período de 1980 a 2017<sup>1</sup>. Essa avaliação é importante para identificar se algumas políticas governamentais de estímulo e difusão de tecnologia podem afetar o crescimento do PIB *per capita* para o caso dos países da OCDE, o que torna a presente pesquisa relevante.

<sup>1</sup>O período de análise se deve a disponibilidade de dados de forma que permitisse um maior número de países na amostra.

Parte da hipótese de que as variáveis relacionadas com a inovação tecnológica impactam positivamente a produção de novas ideias e o crescimento do PIB *per capita*, sendo o efeito maior sobre os países de baixa renda já que estes possuem um estoque de conhecimento menor em relação aos países de alta renda.

Essas interações entre as variáveis serão observadas a partir do vetor *Panel Data Vector Autoregressive* (PVAR) usado para estimar modelos dinâmicos, cuja abordagem econométrica se utiliza do método dos momentos generalizados do sistema (GMM), o que torna nossos resultados consistentes e robustos. Com isso, este artigo traz pelo menos três contribuições para a literatura. Primeiro, o período em análise ainda não foi abordado, de modo que contempla um número maior de países da OCDE. Segundo, verificamos o efeito de um choque causado pelos gastos em P&D doméstico e total da OCDE. Terceiro, os trabalhos empíricos buscam estimar a função de produção de ideias, geralmente por meio de dados em painel, mas não procuram verificar os efeitos derivados de choques nas variáveis relacionadas com o capital humano e a tecnologia para um conjunto de países da OCDE, o que é realizado neste artigo por meio do método PVAR.

Para alcançar o objetivo, este artigo está dividido em mais 6 seções, além desta introdução. A próxima seção faz uma breve revisão da teoria do crescimento endógeno. Na terceira seção, tem-se a revisão empírica. Na seção seguinte é exposta a metodologia do PVAR. Nas duas seções seguintes são mostrados os dados e os resultados encontrados. Por fim, tem-se as considerações finais.

## 2 Breve Revisão da Literatura: Modelos de Crescimento Endógeno

O principal objetivo da teoria do crescimento econômico é encontrar explicação do porquê algumas economias são ricas e outras são pobres. Em Solow (1957), isso se deve ao nível inicial do estoque de capital. Em Lucas Jr (1988), na diferença de investimentos em capital humano se encontra a explicação para a diferença de riquezas entre as nações. Entretanto, no estado estacionário, em ambas as teorias o PIB *per capita* cresce a uma taxa igual a taxa do progresso tecnológico, sendo esta não explicada pelos modelos. A função de produção nesses modelos é definida como:

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} \quad (1)$$

Em que,  $0 < \alpha < 1$ . Já  $Y$  é a produção,  $K$  é o estoque de capital físico,  $A$  é a tecnologia e  $L$  é a força de trabalho.

Considerando essa função de produção, o debate teórico ocorre em torno do que determina a tecnologia ou o progresso técnico. Nos modelos da teoria do crescimento exógeno, a tecnologia é tratada como um “maná dos deuses”, mas é a principal variável para o crescimento das economias no estado estacionário. Todavia, Romer (1990) e Jones (1995) procuraram explicar quais os fatores que podem acelerar o avanço tecnológico, tornando essa variável endógena em seus modelos. Não obstante, esses autores encontraram resultados diferentes em relação aos retornos do conhecimento.

Na tentativa de explicar as diferenças tecnológicas existentes entre os países, a teoria do crescimento endógeno mostra que o progresso tecnológico

ocorre quando as empresas maximizadoras de lucro buscam obter novas e melhores formas de produção. Dessa forma, na perspectiva de Romer (1990), melhorias tecnológicas e o processo de crescimento econômico são entendidos como um resultado endógeno da economia. A busca dos pesquisadores por novas ideias, cujo interesse é o lucro, torna o progresso tecnológico endógeno e o capital humano na variável central na teoria do crescimento.

Romer (1990) destaca ainda que os *spillovers* de conhecimento se devem ao fato da possibilidade de crescimento ilimitado do conhecimento e de sua apropriação incompleta pelo seu criador, de modo que o ótimo social pode ser alcançado por meio de políticas governamentais que tenham por objetivo estimular o avanço tecnológico.

Nesse modelo, a produção de conhecimento depende da quantidade de capital humano destinado a pesquisa ( $L_A$ ) e da quantidade do estoque de conhecimento disponível na economia ( $A$ ), dado que conhecimento é acumulação de ideias desenvolvida por pessoas. Logo, sendo ( $\delta A$ ) a taxa a qual são criadas novas ideias, a produção do conhecimento ( $\dot{A}$ ) será dada por:

$$\dot{A} = \delta L_A A \quad (2)$$

Como pode ser observado na função (2), destinar uma maior quantidade de capital humano a pesquisa resulta em uma maior taxa de produção de conhecimento, que provoca um aumento do estoque total de conhecimento, que por sua vez aumenta a produtividade do setor de pesquisa e, portanto, aumenta a facilidade de gerar novas ideias. Em outras palavras, destinar mais capital humano torna o crescimento da economia ilimitado.

Não obstante, isto se deve ao fato de que a função (2) ser linear em suas variáveis, o que permite ao produto marginal dos pesquisadores crescer a uma taxa proporcional ao estoque de conhecimento da economia. Uma situação em que a função (2) seja não linear, a produtividade marginal de  $L_A$  apresentaria em algum momento retornos decrescentes, o que deslocaria o capital humano do setor de pesquisa para o setor de bens finais e, consequentemente, desacelerando a taxa de crescimento da economia. Romer (1990) argumenta que não há evidências na história de que o conhecimento possa ser esgotado.

No entanto, Jones (1995) diz que não há evidências empíricas que confirmem os efeitos de escala do modelo de Romer (1990) nas economias industrializadas, dado que o número de pesquisadores aumentou nos países desenvolvidos na segunda metade do século XX, mas a produtividade total dos fatores não apresentou a mesma tendência.

Com efeito, Jones (1995) modifica a função de produção de ideias de Romer (1990), permitindo que a produção de conhecimento apresente retornos decrescentes de escala. Isto é,

$$\dot{A} = \delta L_A^\lambda A^\phi \quad (3)$$

em que,  $\phi$  é um parâmetro que representa o *spillover* intertemporal. De modo que se  $\phi < 0$ , ocorre o que Jones (1995) chamou de efeito “garimpo de ideias”, ou seja, as ideias mais óbvias são descobertas primeiro, de modo que quanto maior o estoque de conhecimento, menor a probabilidade de um pesquisador descobrir uma nova ideia. Em outras palavras, a produtividade marginal de  $L_A$  agora apresenta retornos decrescentes de escala. Se  $\phi > 0$ , existem *spillovers* positivos da produção de conhecimento. Já se  $\phi = 0$ , não há *spillovers* e a taxa de inovação passa a ser independente do estoque de conhecimento.

Jones (1995) ainda adotar a restrição de que  $0 < \lambda \leq 1$ , ou seja, a duplicação de pesquisa reduz o número total de inovações produzidas por  $L_A$  unidades de capital humano. Quando  $\phi = 1$  e  $\lambda = 1$ , temos a função de produção de ideias de Romer (1990), o que torna essa função um caso particular da função de produção de ideias de Jones (1995). Uma vez que os dados são inconsistentes com o modelo de Romer (1990), Jones (1995) adota a restrição de que  $\phi < 1$ , eliminando os rendimentos de escala na produção de conhecimento.

Com isso, diferentemente de Romer (1990), políticas econômicas como a de subsídios a pesquisa não afetam o crescimento da economia de forma permanente. Para Jones (1995), a taxa de crescimento econômico depende da taxa de crescimento do capital humano envolvido na pesquisa, pois estes ao criarem novos projetos de P&D, aumentam a produtividade da economia e, portanto, o crescimento econômico.

Todavia, a teoria do crescimento endógeno na perspectiva de Romer (1990) e Jones (1995) a modelagem do crescimento econômico ocorre com base em inovações horizontais de produtos, isto é, de uma variedade nova de produtos. Com efeito, a obsolescência é desconsiderada, de maneira que impossibilita o surgimento de novos produtos ou técnicas com qualidade superior às existentes que desloque para fora do mercado seus similares de qualidade inferior.

Segundo Grossman e Helpman (1991), Segerstrom (1991) e Aghion e Howitt (1990), a inovação não é limitada exclusivamente a um produto novo, mas incluem a melhoria da qualidade ou uma nova técnica de produção para um produto existente, ou até mesmo a construção de um mercado novo. Em outras palavras, um modelo de crescimento econômico deve incorporar também as inovações verticais.

As inovações verticais podem ser entendidas como uma escada de qualidade para todos os produtos em que os degraus mais abaixo são os produtos de qualidade inferior que se tornaram obsoletos enquanto os degraus de cima são os produtos de qualidade superior que ainda não foram criados.

Diante disso, o conceito de “destruição criativa” de Schumpeter captura a dupla natureza do progresso tecnológico, ou seja, a criação se trata das inovações horizontais e verticais de produtos/produção enquanto a destruição ocorre à medida que a tecnologia ou produtos se tornam obsoletos. Surgem assim, os modelos de crescimento endógeno schumpeterianos, que tem como base os trabalhos de Aghion e Howitt (1990) e Segerstrom (1991).

Aghion e Howitt (1990) constroem um modelo de crescimento endógeno introduzindo tanto as inovações verticais quanto a ideia de destruição criativa de Schumpeter. Segundo Barro e Sala-i-Martin (2003), esse modelo pode ser entendido a partir de duas equações. A primeira mostra como ocorre a compensação do mercado de trabalho, em que a oferta da força de trabalho total ( $L$ ) é dada pela mão de obra utilizada na produção do bem intermediário ( $x$ ) e a quantidade de pesquisadores trabalhando para a melhoria do bem intermediário ( $n$ ):

$$L = x + n \quad (4)$$

A segunda equação mostra que no equilíbrio o custo marginal de um pesquisador ( $w$ ) deve ser igual ao benefício marginal esperado, ou seja:

$$w_t = \lambda \gamma \pi_t \quad (5)$$

Em que o benefício marginal esperado ( $\lambda$ ) é determinado pela probabilidade de sucesso dos investimentos em P&D e, portanto, quando  $\lambda = 1$ , tem-se lucros de monopólio ( $\pi$ ). Já  $\gamma$  mostra o tamanho do impacto de uma inovação sobre os salários e lucros.

Realizando algumas manipulações matemáticas <sup>2</sup>, obtemos a taxa de crescimento da produtividade no estado estacionário:

$$g = \lambda n(\gamma - 1) \quad (6)$$

Essa equação afirma que a taxa de produtividade no estado estacionário tem uma relação direta com a inovação incremental ( $\gamma - 1$ ), com a quantidade de pesquisadores ( $n$ ) e com a probabilidade de sucesso dos gastos em P&D,  $\lambda$ .

[Segerstrom \(1991\)](#) explora a incerteza dos investimentos de P&D, ausentes nos modelos de Romer-Jones. O modelo desenvolvido pelos autores combina a hipótese de ciclo de vida do produto com o conceito de destruição criativa.

Quanto uma empresa realiza investimentos em P&D, ela tem por objetivo obter lucros de monopólio. No entanto, ela não é a única no mercado buscando desenvolver alguma melhoria na qualidade do produto, de modo que a empresa pode gastar uma quantidade considerável de recursos e a melhoria ser realizada primeiro por sua concorrente.

Todavia, existe uma busca contínua para descobrir produtos em níveis superiores na escala de qualidade e se espera que a probabilidade de encontrar esse produto seja maior quanto maior os gastos em P&D. Uma empresa que conseguiu desenvolver um produto de qualidade superior, passa a obter lucros de monopólio com o registro da patente e os produtos de qualidade inferior se tornam obsoletos. No entanto, esses lucros de monopólio são temporários, permanecendo pelo tempo de vigência da patente ou até outra empresa desenvolver um produto com qualidade superior. Diante disso, cada novo produto tem um ciclo de vida que tende a ser substituído quando se desenvolve um bem de qualidade superior. Assim, se a empresa deseja manter seus lucros de monopólio, ela deve permanecer de forma contínua buscando desenvolver produtos de qualidade superior.

Não obstante, [Grossman e Helpman \(1994\)](#) questionam o fato do modelo de [Aghion e Howitt \(1990\)](#) considerar que um projeto de pesquisa bem-sucedido melhora a qualidade de todos os produtos simultaneamente, gerando ganhos de monopólio para um único inovador. Já no modelo de [Segerstrom \(1991\)](#), a crítica se deve ao fato de a melhoria de produtos ocorrer em sequência, ocorrendo a melhoria de um primeiro produto para em seguida ocorrer a melhoria dos demais. Quando todos os produtos tenham sido melhorados uma única vez, o ciclo se inicia.

Por sua vez, [Grossman e Helpman \(1991\)](#) modelam uma abordagem de crescimento endógeno em que cada produto tem uma escala de qualidade e sua melhoria acontece pela busca das empresas inovadoras pela próxima geração de produtos, mas considerando a incerteza dos investimentos em P&D como fazem [Aghion e Howitt \(1990\)](#) e [Segerstrom \(1991\)](#).

Assim, a concorrência parece estar intrínseca nos modelos de crescimento endógeno schumpeterianos, de forma que existe uma forte concorrência entre as empresas em busca de desenvolver bens que estão em degraus de qualidade superior. No entanto, na perspectiva schumpeteriana, essa concorrência pode

---

<sup>2</sup>Em [Barro e Sala-i-Martin \(2003\)](#) se encontram todos os passos necessários para se chegar ao estado estacionário.

ter dois efeitos contraditórios sobre o processo de inovação, apresentando uma relação em forma de U invertido. Segundo Aghion e Howitt (2008), em níveis baixos de concorrência, um aumento da rivalidade entre as empresas provoca um aumento da inovação, ocorrendo o patenteamento de um maior número de ideias. Por outro lado, em setores em que a concorrência é acirrada, o aumento da rivalidade faz com que a inovação diminua.

Aghion *et al.* (2001, 2005), ao modelarem essa relação em forma de U invertido, dividem a economia em três setores de acordo com o período (ou passo) que o setor se encontra em relação a fronteira tecnológica: i) setores de fronteira; ii) setores um passo atrás; e iii) setores dois passos atrás.

Nos setores de fronteira, são possíveis inovações radicais que melhoram a qualidade e conferem um poder de monopólio temporário a empresa inovadora. Nesse caso, mais concorrência impulsiona a inovação, uma vez que podem cobrar rendas de monopólio para as inovações bem sucedidas. Esse processo é conhecido como efeito “*escape competition*”.

Para os setores um passo atrás, parte do pressuposto que a inovação é pouco significativa para que o inovador tenha condições de cobrar um preço de monopólio. A renda de monopólio não está disponível para este setor. Isso se deve ao fato de que uma inovação modesta não força as outras empresas a saírem da atividade, de modo que com mais concorrência, mais empresas podem inovar e a margem de lucro para cada uma delas será menor. Assim, o efeito de uma relação inversa entre concorrência e inovação é predominante.

Já nos setores dois passos atrás, não há incentivos para inovar, ocorrendo apenas um transbordamento da tecnologia dos setores um passo atrás após um período.

Aghion e Howitt (2008), utilizam dados em nível de empresa para o Reino Unido com o objetivo de verificar a teoria *step-by-step* e adotam a entrada de empresas estrangeiras e o crescimento da produtividade total dos fatores como *proxies* para a concorrência e a inovação, respectivamente. Os resultados encontrados mostram que conforme as empresas estrangeiras entram no mercado, a inovação aumenta para as empresas próximas a fronteira, mas diminui para as empresas distantes da fronteira. Resultados similares são encontrados em experimento realizado por Aghion *et al.* (2018).

Diante das diferentes previsões dos modelos de Romer (1990) e Jones (1995), bem como dos modelos schumpeterianos, é importante verificar empiricamente e estimar as funções de produção e de ideias para as economias da OCDE. Contudo, antes de estimar essas funções é necessário conhecer os principais resultados de alguns trabalhos, de modo que possam ser fontes de comparação para os resultados encontrados neste artigo.

### 3 Evidências Empíricas

Esta seção tem por objetivo mostrar os principais trabalhos empíricos que buscaram estimar a função de produção e de ideias, de forma que se possa comparar com os resultados encontrados na presente pesquisa.

Love e Zicchino (2006)<sup>3</sup> aplicam o método de PVAR para analisar as condições financeiras e o investimento das empresas em 36 países. Desde então a

<sup>3</sup> Love e Zicchino (2006) foram os pioneiros ao usar o método PVAR no *Stata*, cujos códigos estão disponíveis em Abrigo e Love (2016).

metodologia PVAR vem sendo adotada para verificar as relações econômicas envolvendo questões e variáveis financeiras.

No entanto, a metodologia PVAR pouco foi explorada dentro da teoria do crescimento endógeno. O recente trabalho de Belazreg e Mtar (2020) se aproxima dessa teoria, na qual o PVAR é utilizado para estudar as interações entre inovação, crescimento econômico, desenvolvimento financeiro e abertura comercial. Os resultados mostraram uma relação neutra entre a variável inovação e as demais variáveis. Por outro lado, o capital humano se mostrou significativo para desenvolver o potencial de inovação nos 27 países da OCDE analisado pelos autores no período de 2001 a 2016.

Na literatura, outros métodos são utilizados para estimar a função de produção de ideias de acordo com o modelo de Romer-Jones, ou seja, tentam observar a força entre a produção de ideias e produtividade do conhecimento.

Porter e Stern (2000), utilizando de dados em painel para uma amostra com dezesseis países da OCDE, estimam a função de produção e a força dos *spillovers* internacionais com o objetivo de avaliar diretamente os determinantes das novas ideias. Os resultados mostraram que a produtividade aumenta proporcionalmente com o estoque de ideias já descobertos.

Com o mesmo objetivo de Porter e Stern (2000), Pessoa (2005) procurou estimar os parâmetros da função de produção de ideias a partir de duas amostras (uma com 27 países e outra com 21 países da OCDE), utilizando também do método de dados em painel. Diferentemente de Porter e Stern (2000), as estimativas de Pessoa (2005) consideram que o estoque de conhecimento possa ter taxas de obsolescência de 0%, 5%, 10% e 15%. Com efeito, Pessoa (2005) encontrou resultados distintos dos de Porter e Stern (2000), mas que corroboram com a função de produção de ideias de Jones (1995), isto é, de que há retornos marginais decrescentes no estoque de ideias e no número de pesquisadores.

Pessoa (2005) em nenhuma amostra diferencia os grupos de países pela renda ou pelo tamanho do mercado, mas procura manter uma certa homogeneidade da amostra quanto a esses fatores. Diferentemente de Pessoa (2005) e Porter e Stern (2000), o trabalho de Ulku (2007) analisa as previsões dos modelos de crescimento endógeno discriminando os países da OCDE e não OCDE pela renda e pelo tamanho do mercado de cada economia. Ulku (2007) adota o método de dados em painel dinâmico de efeitos fixos e o método generalizado de momentos para aumentar a robustez de seus achados. Os resultados encontrados pelo autor se diferenciam de acordo com a mostra. O aumento do número de pesquisadores eleva a produtividade apenas nas economias de grande mercado da OCDE, enquanto o aumento da inovação eleva a renda *per capita* apenas nos países de alta renda da OCDE e em todos os países não membros da OCDE de alta renda, de mercados grandes e pequenos.

Diferentemente dos trabalhos anteriores, Ang e Madsen (2015) procuraram também analisar no período de 1870-2010 a evidência empírica de outras teorias do crescimento endógeno, diferenciando-se também dos demais estudos pelos diversos canais internacionais de *spillovers* sobre a produção de ideias. O trabalho de Porter e Stern (2000) não permite a proliferação de produtos como prevista nos modelos schumpeterianos e consideram apenas alguns canais de transmissão de ideias entre os países. Por outro lado, Ulku (2007) apesar de permitir efeitos de proliferação na função de produção de ideias, desconsideram os *spillovers* internacionais de conhecimento. Assim, uma das contribuições de Ang e Madsen (2015) é o de explorar esses

**Tabela 1:** Compilação das metodologias e variáveis utilizadas nas pesquisas empíricas sobre crescimento econômico

Autores	Método	Dependente	Independente
Porter e Stern (2000)	Dados em Painel	Patentes	Estoque de Patentes
Pessoa <i>et al.</i> (2007)	Dados em Painel	Patentes	Pesquisadores, Gastos em P&D
Ulku (2007)	Efeito Fixo e GMM-diff	Patentes	Estoque de Patentes, Pesquisadores, Taxa de Matrícula na Escola Secundária, Abertura Comercial
Ang e Madsen (2015)	Dados em Painel	Patentes	Gastos em P&D, PIB, Anos de Escolaridade, Estoque de Patentes Mundial, Fronteira Tecnológica, Importações
Luintel e Khan (2017)	Dados em Painel	Patentes	Pesquisadores, Estoque Doméstico, Estoque de Patentes de Países da OCDE, Estoque de Patentes de Países Emergentes
Belazreg e Mtar (2020)	VAR Painel	PIB <i>Per capita</i>	Produtividade, Estoque de Capital, Força de Trabalho, Crédito Interno, Indicador de Desenvolvimento Financeiro, Participação no Comércio Total, Índice de Preços, Investimento Direto Estrangeiro, % de diplomados na População, Indicador de Empreendedorismo.

Fonte: Elaboração própria.

canais internacionais de difusão do conhecimento, considerando que eles podem ocorrer pela via das importações, distância geográfica, estoque mundial de patentes e distância até a fronteira. Estimou-se um painel de mínimos quadrados generalizados, cujos resultados foram positivos para todas os canais de transbordamentos, exceto para o estoque mundial de conhecimento.

Luintel e Khan (2017) ampliam a análise de Ang e Madsen (2015), considerando outros canais de difusão do conhecimento entre 31 economias emergentes discriminando como: i) mundo industrializado; ii) mundo emergente; iii) países e grupos regionais diferentes; iv) casos bilaterais; agrupamentos regionais dentro da amostra de países emergentes. Os dados são analisados por meio de dados em painel, cujos resultados são contrários aos de Pessoa (2005) e aos de Ang e Madsen (2015), ou seja, os autores encontraram evidências de que há retornos crescentes de escala no estoque de conhecimento doméstico e externo para a produção de ideias. Assim, os resultados dos modelos de crescimento semiendógeno não podem ser generalizados, de modo que as políticas públicas podem acelerar o processo de convergência das economias emergentes.

A Tabela 1 resume o método e as variáveis utilizadas pelos trabalhos mencionados. No entanto, a maioria dos trabalhos para os países da OCDE se ocupam de estimar as funções de produção e de ideias, dedicando pouca atenção as interações de causa e efeito entre as variáveis das funções. Sendo assim, o propósito deste artigo será o de tentar reduzir essa lacuna na literatura empírica.

#### 4 O método de Vetores Autorregressivos para Dados em Painel (PVAR)

O objetivo deste trabalho é o de avaliar as relações de causa e efeitos entre as variáveis das funções de produção e de ideias de modo que todas as variáveis se tornam endógenas no modelo. Portanto, o método de Vetores Autorregressivos para Dados em Painel (VAR Painel ou Panel VAR) se torna o mais apropriado. Para se obter resultados mais eficientes, também será adotada a técnica *Generalized Method of Moments* (GMM/IV) de [Arellano e Bond \(1991\)](#).

A relação dinâmica entre as variáveis dentro da metodologia de PVAR pode ser representada como:

$$Y_{it} = \phi_i + Y_{it-1}A(L) + \delta_t + \mu_{it} \quad (7)$$

onde  $i = [1, \dots, 35]'$  denota um dos países da OCDE que fazem parte da amostra de dados, e  $t = [1980, \dots, 2017]'$  é o período em análise.

Na equação (7),  $Y_{it} = [X_{it}]'$  é um vetor de  $n$  variáveis  $X_{it}$  para estimar a função de produção de ideias e a função de produção, sendo todas as variáveis endógenas para o país  $i$  no tempo  $t$ ,  $\phi_i$  é um vetor  $\kappa \times 1$  de efeitos fixos invariante no tempo,  $\delta_t$  representa efeitos no tempo não observáveis,  $A(\cdot)$  são matrizes  $\kappa \times \kappa$  de coeficientes defasados,  $L$  é um operador de *lag*. Finalmente,  $\mu_{it}$  é um vetor de erros idiosincráticos.

Segundo [Baltagi \(2008\)](#), os parâmetros da equação (7) podem ser estimados em conjunto com os efeitos fixos, mas tais estimativas seriam enviesadas mesmo com um  $N$  grande, embora que o viés seja reduzido com o aumento de  $T$ . O mesmo ocorreria se os parâmetros fossem estimados de forma independente do efeito fixo, equação por equação, por meio do método de mínimos quadrados ordinários<sup>4</sup>.

Para eliminar esse problema, adotamos a técnica GMM/IV de [Arellano e Bond \(1991\)](#), que é consistente mesmo quando  $T$  for pequeno. Esse procedimento, denominada também de Helmert, sugere o desvio ortogonal avançado como uma transformação alternativa para eliminar os efeitos fixos individuais, na qual subtrai a média direta das variáveis no VAR. Por exemplo, se a variável PIB *per capita*  $GDP_{P_{it}}$  permite  $\overline{GDP_{P_{it}}} = \sum_{s=t+1}^{T_i} GDP_{P_{is}}/(T_i - t)$  para  $i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T$  ser sua média direta, a transformação Helmert é

$$\widetilde{GDP}_{P_{it}} = \gamma_{it}(GDP_{P_{it}} - \overline{GDP_{P_{it}}}) \quad (8)$$

em que

$$\gamma_{it} = \sqrt{(T_i - t)/(T_i - t + 1)} \quad (9)$$

Logo, o modelo VAR painel transformado final é:

$$\widetilde{GDP}_{P_{it}} = A(L)\widetilde{GDP}_{P_{i,t-1}} + \widetilde{\varepsilon}_{it} \quad (10)$$

A equação (7) transformada é

$$\widetilde{Y}_{it} = \widetilde{Y}_{it-1}A(L) + \delta_t + \mu_{it} \quad (11)$$

Diante dessa transformação, as variáveis defasadas tornam-se ortogonais às variáveis originais e, portanto, tornam-se instrumentos válidos uma vez

<sup>4</sup>Vide [Nickell \(1981\)](#) e [Judson e Owen \(1999\)](#).

que não estão incluídas na transformação. Portanto, são essas relações ortogonais que fornecem as condições de momento a partir das quais o VAR painel pode ser estimado via GMM.

Com base na equação (11), o foco passa ser a estrutura autorregressiva do VAR painel com o objetivo de saber se o modelo é estável. A equação (11) pode ser reescrita como

$$B(L)\tilde{Y}_{it} = \mu_{it} \quad (12)$$

Em que  $B(L) = (I_k - A(L))$

Assim, enquanto o módulo de todos os autovalores de  $A(L)$  for menor que um,  $B(L)$  satisfaz a condição de estabilidade e, portanto, é invertível ([LÜTKEPOHL, 2005](#)).

Desse modo, a condição de estabilidade implica que o VAR do painel é invertível e, assim, é possível obter uma representação da média móvel de vetor infinito (VMA), cuja interpretação ocorre por meio das funções de impulso-resposta e pela decomposição da variância do erro de previsão. Dessa forma, podemos escrever a VMA do PVAR, como

$$\tilde{Y}_{it} = \Phi(L)\mu_{it} \quad (13)$$

Onde  $\Phi(L) = \sum_{j=0}^{\infty} \Phi_j L^j \equiv B(L)^{-1}$

Como as funções impulso-resposta não têm interpretação causal, uma vez que os distúrbios  $\mu_{it}$  estão correlacionados contemporaneamente, ou seja, um choque em uma variável pode ser acompanhado por choques em outras variáveis. Para solucionar esse problema, é implementado a decomposição de Cholesky. Isto é, depois que o VAR for estimado, os termos de erro são identificados por meio da decomposição de Cholesky para em seguida serem geradas as funções de impulso-resposta.

Suponha que temos uma matriz  $P$ , tal que  $P'P = I$ , onde  $P$  é uma matriz triangular inferior que permite ortogonalizar os distúrbios como  $\mu_{it}P^{-1}$  e transformar os parâmetros VMA em funções de impulso-resposta ortogonalizadas  $P\Phi_i$ . Os intervalos de confiança da função de impulso-resposta serão estimados por meio de simulações de Monte Carlo, considerando 500 simulações com base no modelo estimado.

O resultado das estimativas obtidos por meio de modelos de VAR estruturais depende crucialmente da ordem especificada das variáveis do modelo VAR. Portanto, a escolha da ordem das variáveis do modelo seguirá a literatura exposta na primeira seção deste artigo, ou seja, a teoria do crescimento endógeno de [Romer \(1990\)](#) e [Jones \(1995\)](#). Assim, por exemplo, para a função de produção se espera que as variáveis estoque de capital, estoque de conhecimento, capital humano alocado no setor de P&D e o capital humano fora do setor de P&D determinem o PIB *per capita*. Dessa forma, qualquer alteração em alguma dessas variáveis afeta o PIB *per capita* de imediato. Por outro lado, espera-se que alteração no PIB *per capita* não impacte, pelo menos de imediato, as demais variáveis do modelo.

Com efeito, utilizando a decomposição de Cholesky, isso significa que o coeficiente do PIB *per capita* ou sua proxy equivalente deve ser ordenado por último no VAR estrutural, já que se trata da variável mais endógena do modelo. Todavia, além das variáveis mencionadas na seção anterior, será incorporado nas funções de produção e de conhecimento o gasto em P&D dos países de

forma individual e o total de gastos em P&D realizados na OCDE, sendo introduzido em cada função seguindo o critério de ordenação das variáveis no VAR, da menos endógena para a mais endógena. Na próxima seção, vamos apresentar os dados e suas fontes, bem como o tratamento realizado em cada variável.

## 5 Dados

Para avaliar a evidência empírica, é necessário realizar a descrição das variáveis que representam o modelo base para estimar a função de ideias de Jones (1995) e em seguida, a descrição e os procedimentos metodológicos para estimar a função de produção.

Diante da indisponibilidade de dados, algumas *proxies* serão utilizadas, de modo que os indicadores possam ser homogêneos para todos os países. Para a variável capital humano envolvida com pesquisa (*PESQ*), a *proxy* adotada será o número de pesquisadores em tempo integral. Embora se reconheça que essa *proxy* apresenta alguns problemas, uma vez que não considera os esforços em nível de empresa que geram melhorias em produtos e processos, a literatura<sup>5</sup> acredita que essa *proxy* representa um índice do número de trabalhadores que criam ideias economicamente relevantes.

Para a variável estoque de ideias (*E\_IDEIAS*) e o número de novas ideias economicamente úteis (*N\_IDEIAS*), adota-se o número de pedidos de patentes de utilidade no Escritório Europeu de Patentes (EPO). Ambos os dados estão disponíveis no portal da OCDE. O uso dessa *proxy* está sujeito a várias críticas (GRILICHES, 1990), sendo a mais significativa o fato de que nem todas as invenções/ideias são patenteáveis ou patenteadas. No entanto, assume-se que as patentes sejam um índice razoável da atividade geral da inovação, como adotado em vários estudos<sup>6</sup>. O estoque de ideias é calculado a partir das contagens de patentes com base no modelo de inventário permanente, com uma taxa de obsolescência de 10%. Isto é, admite-se que há uma substituição de ideias velhas por novas.

Os dados do PIB *per capita* (*GPD\_P*) e do estoque de capital (FBKF) também foram extraídos do Banco Mundial, cuja *proxy* adotada para essa última variável foi a formação bruta de capital fixo. Ambas as variáveis estão a preços constantes em U\$ de 2010.

As variáveis Gastos em P&D de cada país (*GAST\_P*) e Gasto em P&D total na OCDE (*GAST\_T*) são encontradas no site da OCDE-Date. A variável (*GAST\_T*) será utilizada para capturar o efeito de *spillover* da organização sobre os países isoladamente, enquanto a variável (*GAST\_P*) é utilizada para mesurar o impacto dos gastos em P&D de cada país sobre seu PIB *per capita* e na sua produção de ideias. A Tabela 2 resume a descrição das variáveis e suas fontes.

Algumas transformações foram feitas nas variáveis. As variáveis *PESQ* e a *FBKF* estão em proporção da força de trabalho enquanto as demais variáveis estão em proporção da população. Além disso, todas as variáveis foram transformadas em logaritmos naturais, de modo que os coeficientes estimados mostram a elasticidade de cada variável analisada, e em seguida calculada a

<sup>5</sup>Vide Pessoa (2005) e Ulku (2007).

<sup>6</sup>Vide Pessoa (2005) e Ang e Madsen (2015).

**Tabela 2:** Descrição das Variáveis

Variáveis	Descrição das Variáveis	Fonte
PESQ	Pesquisadores no setor de P&D em tempo integral.	OCDE-Date
E_IDEIAS	Número de pedidos de patentes de utilidade no Escritório Europeu de Patentes (EPO). Calculado a partir das contagens de patentes com base no modelo de inventário permanente, com uma taxa de obsolescência de 10%.	OCDE-Date
N_IDEIAS	Número de pedidos de patentes de utilidade no Escritório Europeu de Patentes (EPO).	OCDE-Date
GPD_P	PIB <i>per capita</i>	Banco Mundial
FBKF	Formação Bruta de Capital Fixo.	Banco Mundial
GAST_P	Gasto em P&D realizado por cada país.	OCDE-Date
GAST_T	Gasto em P&D total na OCDE.	OCDE-Date
PROD1	Razão entre o PIB e o número de pessoas empregadas.	OCDE-Date
PROD2	Razão entre o PIB e as horas trabalhadas.	OCDE-Date

Fonte: Elaboração própria.

sua variação. A ordem de apresentação das variáveis no modelo foi feita considerando a literatura exposta na primeira seção deste artigo. Espera-se que todas as variáveis apresentem um impacto positivo na produção de ideias e sobre o PIB *per capita*.

O conjunto de dados tem periodicidade anual entre 1980 e 2017 e para testar a robustez dos resultados na primeira estimativa, são realizadas mais duas estimativas das funções de impulso resposta. Na primeira, a variável PIB *per capita* é substituída pela variável PROD1 e na segunda pela variável PROD2.

A OCDE também já foi chamada de “Clube dos Ricos” devido ao elevado PIB *per capita* de seus países membros, mas atualmente é composta de 38 países dos quais muitos têm um baixo PIB *per capita*. Portanto, trata-se de uma amostra de países heterogênea no que diz respeito tamanho de mercado, investimentos, nível de tecnologia, PIB, gastos em P&D, registro de patente, dentre outras variáveis importantes. Desse modo, justifica-se a escolha desse grupo de países para se observar as interações de cada variável relacionada com a tecnologia sobre a produção de ideias e sobre o PIB *per capita*, interações estas que são analisadas na próxima seção.

## 6 Resultados

Primeiro, são apresentados os resultados para dois testes de raiz unitária de painel. Em seguida, os resultados para a escolha do modelo utilizando os critérios de seleção de Andrews e Lu (2001). Terceiro, foi verificado a condição de estabilidade, ou seja, se os valores da matriz de coeficientes estimados são estritamente menores que um. Por fim, são realizadas as análises das funções de impulso-resposta (IRFs) para a especificação PVAR multivariada.

## 6.1 Testes preliminares e de especificação

**Tabela 3:** Teste FIV e Teste CSD: todos os países da OCDE

	VIF	1/VIF	VIF	1/VIF	CD-test	P-Valor	Corr	abs
GPD	n.d.	n.d.	2,60	0,384	54,54	0,000	0,409	0,420
NIDEIAS	1,34	0,743	n.d.	n.d.	30,99	0,000	0,227	0,271
EIDEIAS	1,43	0,700	1,17	0,856	68,98	0,000	0,507	0,572
PESQ	1,18	0,847	1,19	0,840	1,64	0,000	0,034	0,144
FBKF	1,25	0,803	2,27	0,440	28,27	0,000	0,239	0,265
GAST <sub>T</sub>	1,27	0,788	1,26	0,794	137,99	0,000	1,000	1,000
GAST <sub>P</sub>	1,39	0,721	1,40	0,714	12,38	0,000	0,093	0,187
Média VIF	1,30		1,65					

Fonte: Elaboração própria.

Nota: n.d. indica não disponível.

Esta seção apresenta os resultados para os testes preliminares e de especificação do modelo PVAR<sup>7</sup>, como o teste de Fator de Inflação de Variância (VIF), de dependência transversal (teste de CSD), teste de raiz unitária e o teste Hausman.

A Tabela 3 mostra os resultados dos testes VIF e CSD para as variáveis utilizadas neste trabalho, cujos testes identificam o nível de multicolinearidade<sup>8</sup> e a presença de dependência transversal<sup>9</sup> nos dados em painel, respectivamente. Observa-se um baixo índice de multicolinearidade entre as variáveis, uma vez que os VIFs médios estão abaixo do valor de referência de 10 estabelecido pelo teste VIF. O teste CSD identificou a existência de dependência transversal em todas as variáveis, o que significa que os países em análises compartilham as mesmas características e choques.

A literatura recomenda que na presença de dependência transversal entre as variáveis, seja preciso verificar a estacionariedade das mesmas. É natural os dados econômicos não apresentarem estacionariedade, uma vez que não existe uma tendência clara de retorno a uma tendência linear. Contudo, segundo Enders (2008), a estacionariedade é importante para que os resultados da regressão não sejam espúrios.

Para captar a presença de raiz unitária nas variáveis, foi realizado dois testes: o teste Dickey-Fuller (ADF) aumentado do tipo Fisher e o teste Im-Pesaran-Shin. No primeiro, a hipótese nula é de que todos os painéis contêm raízes unitária e a hipótese alternativa é de que pelo menos um painel é estacionário. No teste Im-Pesaran-Shin, a hipótese nula é que todos os painéis têm raízes unitárias e a hipótese alternativa é que alguns painéis contêm raízes unitárias<sup>10</sup>.

Segundo Pesaran (2012), ambos os testes tentam mostrar a presença de raiz unitária para cada série individual em um painel, de modo que a rejeição da hipótese nula implica na estacionariedade de uma proporção estatisticamente

<sup>7</sup>Conforme sugerido por Koengkan e Fuinhas (2020).

<sup>8</sup>Vide Belsley, Kuh e Welsch (1980).

<sup>9</sup>Vide Pesaran (2004).

<sup>10</sup>Como se trata de painel não balanceado, não foi possível utilizar os testes Levin-Lin-Chu (LLC), Harris-Tzavalis (HT) e o teste de Hadri, que possui hipótese nula contrária aos demais testes. Pelo mesmo motivo, também não foi possível fazer uso de testes de raiz unitária de segunda geração, como o teste CIPS. Para uma breve discussão sobre os testes de raiz unitária em painel, veja Pesaran (2012).

**Tabela 4:** Testes de Raiz Unitária em Painel para os países da OCDE

Variáveis	Países da OCDE			
	IPS		ADF-Fisher	
	P-valor	t	P-valor	t
PESQ	0,00	-13,88	0,00	-18,01
ESCO	0,00	-19,93	0,00	-30,47
<i>E<sub>IDEIAS</sub></i>	0,00	-17,89	0,00	-25,55
<i>N<sub>IDEIAS</sub></i>	0,00	-13,04	0,00	-17,76
<i>GPD<sub>P</sub></i>	0,00	-15,02	0,00	-22,03
FBKF	0,00	-15,93	0,00	-28,80
<i>GAST<sub>P</sub></i>	0,00	-15,49	0,00	-21,16
<i>GAST<sub>T</sub></i>	0,00	-13,33	0,00	-16,55

Fonte: Elaboração própria.

**Tabela 5:** Testes de Seleção dos Modelos

	MBIC	MAIC	MQIC	J
1	-668,476	0,951	-257,787	294,9516
2	-432,803	13,482	-159,010	209,4824
3	-205,739	17,402	-68,843	115,4028

Fonte: Elaboração própria.

significativa das unidades e não necessariamente todas. A Tabela 4 apresenta os resultados dos testes de raiz unitária para as variáveis em foco.

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que a hipótese nula é rejeitada em ambos os testes, o que indica que uma proporção significativa da série de coeficientes de todas as variáveis é estacionária. Além disso, o teste de Hausman foi realizado para verificar a heterogeneidade do modelo, cujo resultado mostrou que o modelo de efeitos fixos é o melhor estimador. Condição essencial para a estimação do PVAR, embora não necessária.

Por não fazer distinção entre variáveis endógenas ou exógenas na estimativa, o VAR Painel é uma metodologia ateórica, o que pode gerar causalidade bilateral. Diante disso, é importante definir o número de defasagens dos modelos a serem estimados. Segundo Enders (2008), o ideal é utilizar a menor quantidade de defasagens possível para que não se tenha problemas com a utilização de muitos graus de liberdade ou de especificação do modelo.

Para definir o melhor número de defasagens dos modelos, foi utilizado os critérios de Andrews e Lu (2001), a informação Bayesiano modificado (MBIC), o Akaike modificado (MAIC) e o Hannan-Quin modificado (MQIC). A seleção do modelo foi calculada para VARs de primeira a terceira ordem usando quatro defasagens para as variáveis como instrumentos, cujo resultados sugeriram uma defasagem para todos os modelos estimados. Tais resultados são mostrados na Tabela 5. Além disso, a estatística J de Hansen são maiores para uma defasagem. Diante desses resultados, a escolha foi utilizar o modelo mais parcimonioso, conforme Andrews e Lu (2001), com uma defasagem.

Em seguida, o modelo PVAR foi ajustado com base nesses critérios e estimado por meio do método GMM. Não obstante, como se têm ausência de

dados para algumas variáveis, o número de observações diminui à medida que cresce a ordem de defasagens das variáveis incluídas como instrumentos. Diante disso, para melhorar a estimativa, as funções de produção e de ideias foram estimadas utilizando o comando “GMM-style”, conforme proposto por Holtz-Eakin, Newey e Rosen (1988). Com efeito, as defasagens do instrumento com valores ausentes são substituídas por zeros, o que aumenta a amostra resultando em estimativas mais eficientes. Diante disso, serão analisados apenas os resultados obtidos por esse estimador.

Como todas as variáveis são endógenas no VAR Painel, as funções estimadas não têm constante e os dois modelos são estimados simultaneamente. Dessa forma, as mesmas variáveis que impactam no PIB *per capita*, também geram efeitos na produção de ideias, de modo que se pode afirmar que o segundo modelo é uma variação do primeiro.

A ordenação de Cholesky sugere que as variáveis sejam ordenadas da mais exógena para a menos exógena, assim as variáveis menos exógenas são o FBKF e *E\_IDEIAS*, sendo portanto, inseridas por último no PVAR estimado. Portanto, com base na teoria econômica exposta na segunda seção e considerando o critério de ordenação de Cholesky, a ordem dos modelos adotada será: *GAST\_T*, *GAST\_P*, *PESQ*, *N\_IDEIAS*, *E\_IDEIAS*, *FBKF* e *GPD\_P*. Para a função de produção de ideias, o PVAR estima simultaneamente invertendo a ordem com a variável *N\_IDEIAS* no início.

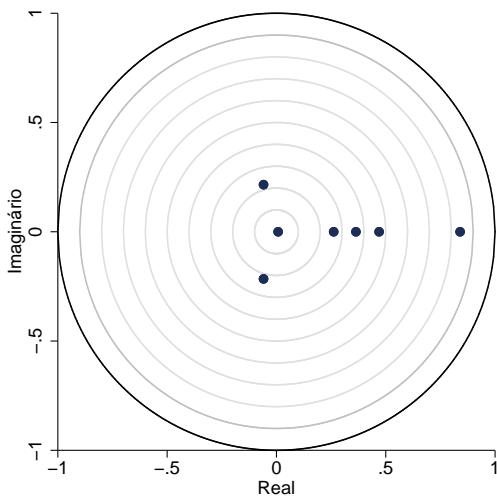
Com efeito, ordenação de Cholesky determina que a última variável sofra impacto imediato de todas as demais variáveis. Por outro lado, espera-se que a primeira variável não sofra impacto contemporâneo das demais variáveis. Como pode ser visto nas funções impulsos respostas estimadas, Figura 1, o choque sobre a variável *GPD\_P* sempre se inicia em um ponto diferente de zero, assim como um choque sobre a variável *GAS\_T* sempre se inicia em um ponto igual a zero, menos para ela mesmo defasada. No entanto, para garantir a robustez dos achados empíricos, foi estimado o PVAR com outras ordenações das variáveis, cujos resultados foram similares a primeira ordenação. Desse modo, a interpretação dos resultados ocorrerá diante dessa ordenação já especificada.

Por fim, no que diz respeito a condição de estabilidade, como pode ser visto na Figura 1, todas as raízes da matriz complementar estão dentro do círculo unitário, atendendo a esta condição para todas as amostras em análise.

## 6.2 Discussão dos Resultados

Os testes realizados na seção anterior indicam a presença de baixo índice de multicolinearidade, dependência cross-section, estacionariedade nas variáveis em primeira diferença, presença de efeitos fixos no modelo PVAR e a necessidade de um *lag* para estimar as regressões. Tendo em vista que foram atendidas as condições necessárias para estimar o modelo PVAR-GMM, as funções de impulso-respostas (FIR) foram estimadas.

A primeira e quarta colunas da Figura 2, mostram as funções de impulso-resposta para as funções de produção e de ideias respectivamente, para quinze períodos, de acordo com o choque de um desvio-padrão em uma variável específica. A região sombreada delimita um intervalo de confiança ao nível de 5% de significância, calculado a partir de 500 simulações de Monte Carlo. Além disso, observa-se que todas as variáveis convergem para o equilíbrio

**Figura 1:** Condição de Estabilidade

Fonte: Elaboração própria.

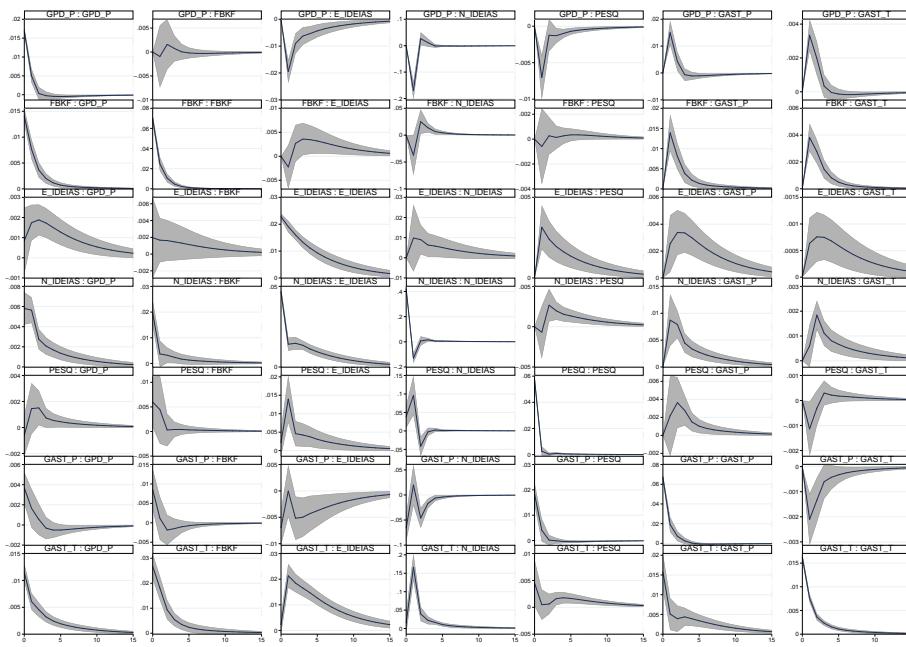
(para zero) após um período de choque, confirmado que as variáveis do modelo são estacionárias.

A análise para os 35 países da OCDE, mostram que embora um choque positivo de um desvio-padrão na variável capital humano alocado no setor de pesquisa provoque um efeito positivo sobre o PIB *per capita*, esta não se apresenta estatisticamente significativa. Porém, o mesmo efeito não se observa sobre a produção de ideias que apresentou um efeito positivo e forte no primeiro ano, apresentando uma queda rápida antes de retornar ao estado estacionário, mas tendo um resultado líquido positivo. Embora seja um efeito de curto prazo, esse resultado é semelhante ao encontrado por [Pessoa \(2005\)](#) e por [Ulku \(2007\)](#) por meio de outros métodos.

[Luintel e Khan \(2009\)](#), mostram que a produção de novas ideias é muito heterogênea entre os países da OCDE e seu efeito tende a se tornar maior quanto maior o número de pesquisadores alocados no setor de P&D. Resultado este, também encontrado por [Diebolt e Hippe \(2019\)](#). Por outro lado, [Bloom et al. \(2020\)](#) argumentam que embora os esforços de pesquisas estejam aumentando significativamente, a produtividade do setor de pesquisa tem caído resultando em um crescimento econômico constante, contrariando [Romer \(1990\)](#).

Por outro lado, um choque positivo de um desvio-padrão nas variáveis novas ideias e estoque de ideias com obsolescência de 10%, têm efeitos positivos e prolongados sobre o PIB *per capita*. Esse é um resultado importante, uma vez que sendo o capital humano alocado no setor de pesquisa responsável pela produção de ideias, pode significar que o efeito desse capital humano sobre o PIB ocorre de forma indireta por meio do processo de acumulação de ideias, que como pode ser visto na terceira coluna, a variável *PESQ* tem um efeito positivo sobre o estoque de ideias.

Também se observa que as novas ideias têm uma relação positiva e prolongada com o estoque de ideias acumulado com obsolescência, o que sinaliza um impacto persistente no tempo dessa variável. Além disso, ambos os coe-

**Figura 2:** Funções de impulso-respostas da Função de Produção de Ideias

Fonte: Elaboração própria.

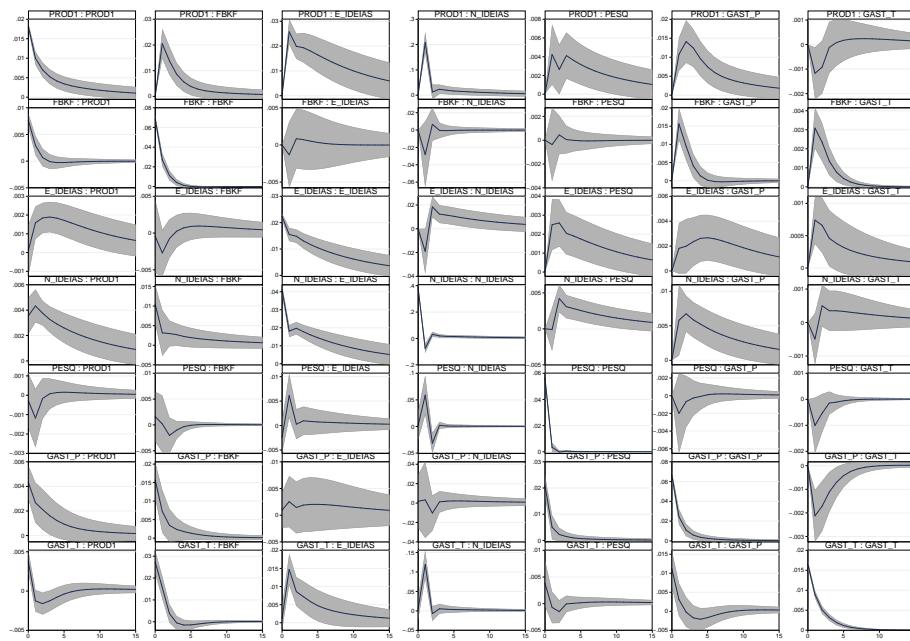
ficientes são estatisticamente significativos a 1%. Tais resultados, corrobora com os achados de Pessoa (2005) e se diferenciam dos encontrados por Porter e Stern (2000).

No mesmo sentido, um choque positivo nos gastos com P&D domésticos também têm efeitos positivos sobre o PIB *per capita*, mas não sobre a produção de ideias, cujos coeficientes se mostraram estatisticamente significativos a 1% e 5%, respectivamente. Dado que na amostra se têm países ricos com elevados estoques de conhecimento, o gasto em P&D de cada país parece ter um impacto limitado na produção de novas ideias, o que talvez não se verifique no caso dos países com baixo estoque de ideias.

Çetin (2013) encontra resultados similares para um grupo de países diferentes. O autor mostra que existe uma relação importante entre crescimento econômico e inovação para um grupo de países europeus, sendo o gasto em P&D uma variável importante para a inovação. Já Pessoa *et al.* (2007), mostra que embora positivo, o gasto em P&D não tem um impacto tão forte sobre o crescimento econômico, devendo o país explorar outras fontes de difusão de conhecimento.

Um choque positivo na variável gastos em P&D total na OCDE, geram *spillovers* positivos sobre os demais países, sendo maior sobre a produção de conhecimento, embora seja mais prolongado sobre o PIB *per capita*. Por isso, além dos canais de difusão de tecnologia mostrados por Ang e Madsen (2015), os gastos em P&D parecem ser outra fonte de difusão de conhecimento.

Esses dois últimos resultados indicam uma espécie de paradoxo, isto é, se um país sozinho tentar aumentar a produção de tecnologia aumentando seus gastos em P&D, os resultados serão limitados ou até negativos. Por outro lado, se uma grande parte dos países aumentarem seus gastos em P&D, isso gera uma externalidade positiva que provoca um ganho para uma grande parte dos

**Figura 3:** Funções de impulso-respostas com a Produtividade (PIB/Emprego)

Fonte: Elaboração própria.

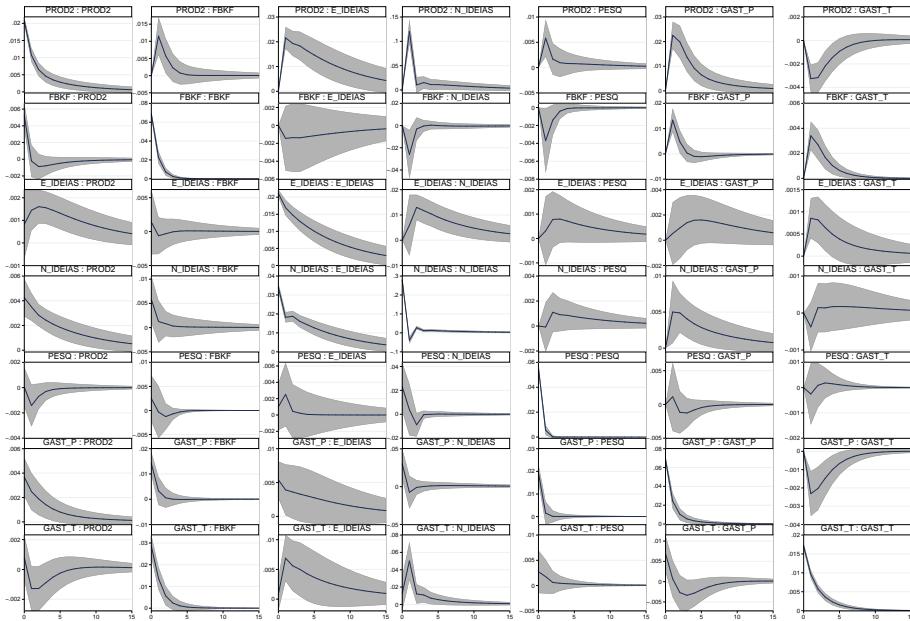
países na produção de ideias. Isso sinaliza que existe um transbordamento de tecnologia entre as economias da OCDE e que pode ser mais produtivo imitar a tecnologia do que criar uma ideia totalmente nova, como afirma Segerstrom (1991).

Um choque na variável capital físico (*FBKF*) tem um efeito positivo contemporâneo sobre o PIB *per capita*, impactando a renda até o quarto ano, quando alcança o estado estacionário. Em relação à produção de novas ideias, a *FBKF* tem um efeito contemporâneo negativo e se torna positivo no segundo ano. No entanto, o efeito líquido é nulo. Esse resultado se diferencia dos encontrados por Dias e Tebaldi (2012), em que o crescimento econômico de longo prazo é explicado, em parte, pelo capital físico. Como visto, o efeito dessa variável foi de curto prazo.

Com o objetivo de testar a robustez dos resultados encontrados, o VAR painel foi estimado novamente substituído a variável *GPD\_P* pela *PROD1*, em seguida substituindo-a pela variável *PROD2*, duas variáveis relacionadas com a produtividade da economia. Espera-se que as funções impulso respostas apresentem efeitos similares diante dos mesmos choques anteriores, uma vez que as variáveis relacionadas com a tecnologia aumentam a produtividade da economia e que esta, por sua vez, aumenta o PIB *per capita*.

No caso da variável *PROD1*, ou seja, a razão entre a produção e o número de pessoas empregadas, a hipótese é que a tecnologia proporcione um impacto positivo no sentido de tornar o trabalhador mais produtivo. Já para a variável *PROD2* que mostra a produção por horas de trabalho, parte-se da hipótese que um choque positivo nas demais variáveis aumente a produtividade por hora trabalhada. As Figuras 3 e 4 mostram as funções de impulso respostas para essas duas variáveis de interesse, respectivamente. As funções de impulso resposta de ambas as Figuras, no geral, são muito parecidas com

**Figura 4:** Funções de impulso-respostas com a Produtividade (PIB/Horas Trabalhadas)



Fonte: Elaboração própria.

as funções de impulso resposta da Figura 2, o que mostra um certo grau de confiança nos resultados encontrados anteriormente.

No entanto, existem algumas diferenças que não comprometem a robustez dos resultados mas que vale a pena observar. Primeiro, os efeitos dos choques são mais intensos sobre o PIB do que as variáveis de produtividade. Segundo, os resultados dos choques da variável *GPD\_P* sobre as demais variáveis são diferentes dos resultados encontrados para um choque na variável *PROD1* ou *PROD2*. Terceiro, as funções de impulso respostas estimadas considerando as variáveis *PROD1* ou *PROD2* são praticamente idênticas em trajetórias, mas se diferenciando no tamanho do impacto. Quarto, o choque de um desvio padrão na variável *PESQ* têm efeitos negativos sobre a produtividade, mas positivo sobre o PIB. Todavia, essa variável se mostrou estatisticamente não significativa para um intervalo de confiança de 95%

Por fim, um choque de um desvio padrão na variável *spillover*, embora tenha efeitos contemporâneos positivos sobre a produtividade, torna-se negativo antes de retornar ao estado estacionário. Por outro lado, o efeito da difusão da tecnologia parece ser maior sobre o PIB, uma vez que ele é todo positivo antes de retornar ao seu estado estacionário.

No que diz respeito aos efeitos sobre a produção de novas ideias, tem-se funções de impulso respostas também similares para todas as situações consideradas, mas também apresentando algumas diferenças que não comprometem a robustez dos resultados. Por exemplo, observa-se que a variável estoque de conhecimento tem um efeito do tipo *standing-on-the-shoulders*, ou seja, que facilita a produção de novas ideias e tem um efeito persistente no tempo, alcançando o estado estacionário a partir do décimo ano. Esse resultado é respaldado pela teoria do crescimento endógeno de primeira geração,

Romer (1990) e Jones (1995), uma vez que a produção de novas ideias aumenta em virtude do estoque de ideias acumulado. No entanto, tem-se um resultado contraditório em relação ao impacto das variáveis de produtividade e do PIB *per capita* sobre a produção de novas ideias. Enquanto um choque nas variáveis de produtividade tem um efeito forte e positivo sobre a produção de conhecimento, um choque no PIB *per capita* tem um efeito forte e negativo na produção de novas ideias. Assim, o efeito neutro entre inovação e crescimento econômico encontrado por Belazreg e Mtar (2020) parece não se confirmar nos resultados encontrados nesta pesquisa.

## 7 Conclusões e Implicações de Políticas

O presente artigo procurou avaliar as interações de impulso-repostas de choques nas variáveis das funções de produção e de ideias a partir do método de *Panel Data Vector Autoregressive* (PVAR). A fundamentação teórica dessas funções se baseia, sobretudo, na teoria do crescimento endógeno de Romer (1990) e Jones (1995). Esses modelos de primeira geração mostram que tanto o PIB *per capita* quanto a acumulação de ideias dependem do estoque de ideias do passado e do número de pesquisadores empregados no setor de pesquisa. Em suma, o objetivo deste artigo foi tentar mostrar se um choque favorável nessas variáveis e em outras, como o gasto em P&D, geram um efeito positivo sobre as variáveis de interesse.

No geral, a teoria do crescimento endógeno de primeira geração encontra apoio nos resultados da presente pesquisa. Praticamente todas as variáveis apresentaram o efeito esperado tanto para o PIB *per capita* quanto para a produção de novas ideias, exceto para os gastos em P&D doméstico.

A suposição de Romer de que políticas públicas no sentido de incentivar a produção de ideias pode contribuir para o crescimento econômico tem respaldo empírico no gasto total da OCDE, de modo que um aumento do gasto em P&D tende a gerar *spillovers* positivos. Todavia, a afirmação de Romer não encontra apoio quando a variável em foco é o gasto em P&D doméstico, de modo que um aumento no gasto em P&D tende a gerar efeitos positivos sobre o PIB, mas negativos na produção de conhecimento.

Nossos resultados sugerem que os países da OCDE devem implementar políticas econômicas que tenham por objetivo facilitar ou acelerar o processo de difusão tecnológica derivados dos gastos em P&D dos países inovadores, bem como pelo processo de acumulação de capital fixo. Se por um lado nossos resultados sinalizam que o investimento em capital humano no setor de pesquisa pode aumentar a produção de novas ideias, por outro lado, a literatura mostra que o investimento em capital humano pode contribuir para absorver de forma mais rápida o conhecimento estrangeiro, acelerando a difusão do conhecimento entre tais economias.

No entanto, os resultados encontrados nesta pesquisa geram inquietações que podem ser mais bem exploradas em outros estudos, seja pelo mesmo método utilizado ou por outras metodologias, em especial na questão do gasto em P&D e nos *spillovers* estrangeiros. Por exemplo, este trabalho não separa o gasto em P&D do setor privado e do setor público, além disso não faz a discriminação dos efeitos de *spillovers* de gastos realizados nos países de alta e de baixa renda da OCDE, dos gastos realizados fora da OCDE. Outra ausência são os *spillovers* derivados do estoque de ideias da OCDE e de outros

países fora da OCDE. Essas questões podem ser abordadas em um novo artigo e, portanto, ficam como sugestões de pesquisas futuras.

## Referências

- ABRIGO, Michael R. M.; LOVE, Inessa. Estimation of panel vector autoregression in Stata. *The Stata Journal*, v. 16, n. 3, p. 778–804, 2016.
- AGHION, Philippe *et al.* Competition and innovation: An inverted-U relationship. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 120, n. 2, p. 701–728, 2005.
- AGHION, Philippe *et al.* Competition, imitation and growth with step-by-step innovation. *The Review of Economic Studies*, v. 68, n. 3, p. 467–492, 2001.
- AGHION, Philippe *et al.* The causal effects of competition on innovation: Experimental evidence. *The Journal of Law, Economics, and Organization*, v. 34, n. 2, p. 162–195, 2018.
- AGHION, Philippe; HOWITT, Peter. *A model of growth through creative destruction*. [S. l.], 1990.
- AGHION, Philippe; HOWITT, Peter. *The economics of growth*. Cambridge, MA: MIT, 2008.
- ANDREWS, Donald W. K.; LU, Biao. Consistent model and moment selection procedures for GMM estimation with application to dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, v. 101, n. 1, p. 123–164, 2001.
- ANG, James B.; MADSEN, Jakob B. What drives ideas production across the world? *Macroeconomic Dynamics*, v. 19, n. 1, p. 79, 2015.
- ARELLANO, Manuel; BOND, Stephen. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, v. 58, n. 2, p. 277–297, 1991.
- BALTAGI, Badi. *Econometric analysis of panel data*. Chichester: John Wiley & Sons, 2008.
- BARRO, Robert J.; SALA-I-MARTIN, Xavier I. Convergence. *Journal of Political Economy*, v. 100, n. 2, p. 223–251, 1992.
- BARRO, Robert J.; SALA-I-MARTIN, Xavier I. *Economic growth*. Cambridge, MA: MIT, 2003.
- BELAZREG, Walid; MTAR, Kais. Modelling the causal linkages between trade openness, innovation, financial development and economic growth in OECD Countries. *Applied Economics Letters*, v. 27, n. 1, p. 5–8, 2020.

- BELSLEY, David A.; KUH, Edwin; WELSCH, Roy E. Regression diagnostics: Identifying influential data and sources of collinearity. *Probability and Mathematical Statistics*, 1980.
- BLOOM, Nicholas *et al.* Are ideas getting harder to find? *American Economic Review*, v. 110, n. 4, p. 1104–44, 2020.
- ÇETİN, Murat. The hypothesis of innovation-based economic growth: a causal relationship. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, n. 11, p. 1–16, 2013.
- DIAS, Joilson; TEBALDI, Edinaldo. Institutions, human capital, and growth: The institutional mechanism. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 23, n. 3, p. 300–312, 2012.
- DIEBOLT, Claude; HIPPE, Ralph. The long-run impact of human capital on innovation and economic development in the regions of Europe. *Applied Economics*, v. 51, n. 5, p. 542–563, 2019.
- ENDERS, Walter. *Applied econometric time series*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.
- GRILICHES, Zvi. *Patent statistics as economic indicators: 1990*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1990.
- GROSSMAN, Gene M.; HELPMAN, Elhanan. Endogenous innovation in the theory of growth. *Journal of Economic Perspectives*, v. 8, n. 1, p. 23–44, 1994.
- GROSSMAN, Gene M.; HELPMAN, Elhanan. *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT, 1991.
- HOLTZ-EAKIN, Douglas; NEWHEY, Whitney; ROSEN, Harvey S. Estimating vector autoregressions with panel data. *Econometrica*, p. 1371–1395, 1988.
- JONES, C. I. R&D-Based Models of Economic Growth. *Journal of Political Economy*, v. 103, p. 759–784, 1995.
- JUDSON, Ruth A.; OWEN, Ann L. Estimating dynamic panel data models: a guide for macroeconomists. *Economics Letters*, v. 65, n. 1, p. 9–15, 1999.
- KOENGKAN, Matheus; FUINHAS, José Alberto. The interactions between renewable energy consumption and economic growth in the Mercosur countries. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 39, n. 6, p. 594–614, 2020.
- LOVE, Inessa; ZICCHINO, Lea. Financial development and dynamic investment behavior: Evidence from panel VAR. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 46, n. 2, p. 190–210, 2006.
- LUCAS JR, Robert E. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, v. 22, n. 1, p. 3–42, 1988.

- LUINTEL, Kul B.; KHAN, Mosahid. Heterogeneous ideas production and endogenous growth: an empirical investigation. *Canadian Journal of Economics*, v. 42, n. 3, p. 1176–1205, 2009.
- LUINTEL, Kul B.; KHAN, Mosahid. Ideas production and international knowledge spillovers: digging deeper into emerging countries. *Research Policy*, v. 46, n. 10, p. 1738–1754, 2017.
- LÜTKEPOHL, Helmut. *New introduction to multiple time series analysis*. Cham: Springer, 2005.
- NICKELL, Stephen. Biases in dynamic models with fixed effects. *Econometrica*, p. 1417–1426, 1981.
- PESARAN, M. Hashem. *General diagnostic tests for cross section dependence in panels*. Bonn: Institute for the Study of Labor (IZA), 2004. (IZA Discussion Paper No. 1240).
- PESARAN, M. Hashem. On the interpretation of panel unit root tests. *Economics Letters*, v. 116, n. 3, p. 545–546, 2012.
- PESSOA, Argentino. “Ideas” driven growth: the OECD evidence. *Portuguese Economic Journal*, v. 4, n. 1, p. 46–67, 2005.
- PESSOA, Argentino *et al.* *Innovation and Economic Growth: What is the actual importance of R&D?* [S. l.], 2007.
- PORTER, Michael E.; STERN, Scott. *Measuring the “ideas” production function: Evidence from international patent output*. [S. l.], 2000.
- ROMER, Paul M. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, v. 98, 5, Part 2, s71–s102, 1990.
- SEGERSTROM, Paul S. Innovation, imitation, and economic growth. *Journal of Political Economy*, v. 99, n. 4, p. 807–827, 1991.
- SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, p. 312–320, 1957.
- ULKU, Hulya. R&D, innovation and output: evidence from OECD and non-OECD countries. *Applied Economics*, v. 39, n. 3, p. 291–307, 2007.