

Detecção de Anomalias nos Indicadores do Índice Global de Inovação


Anomaly Detection in the Global Innovation Index's Indicators

Resumo: A mensuração da capacidade de inovação de um país é essencial para que sejam realizados estudos de tendências e de identificação de gargalos de um Sistema Nacional de Inovação (SNI). Nesse diapasão, destacam-se os indicadores utilizados pelo Índice Global de Inovação (GII), os quais lastreiam diversas pesquisas e apoiam decisões estratégicas de investidores, empresários e agentes públicos. Entretanto, ao longo do tempo, os diversos indicadores do GII passam por mudanças metodológicas e sofrem com diversos tipos de problemas práticos como erros de medição ou falta de dados, dificultando análises de tendências. Baseado na premissa do incrementalismo da inovação, foi definido o conceito de anomalias e elaborado um método para detectá-las automaticamente, além de classificá-las como decorrentes de modificações metodológicas em contraposição às inconsistências, que envolvem os problemas de ordem prática. Aplicou-se o método proposto aos indicadores dos Produtos de Inovação do Brasil, de 2013 a 2019, divulgados pelo GII.

Palavras-chave: Indicadores de Inovação; Incrementalismo; Índice Global de Inovação GII; Sistemas Nacionais de Inovação.

Abstract: The measurement of a country's innovation capacity is essential for studies of trends and the identification of bottlenecks in a National Innovation System (NIS). In this context, the indicators utilized by the Global Innovation Index (GII) are crucial, since they support various researches and strategic decisions by investors, entrepreneurs and public agents. However, GII indicators are impacted by methodological changes and suffer from several types of practical problems such as measurement errors or missing data, generating anomalies in analyzes. Based on the premise of innovation incrementalism, the concept of anomaly was defined and a method was developed to automatically detect them, while classifying those resulting from methodological changes in opposition to those resulted from practical problems. The proposed method was applied to the indicators from the innovation outputs of Brazil, from 2013 to 2019, released by the GII.

Keywords: Innovation Index; Incrementalism; Global Innovation Index GII; National Innovation Systems.

Juraci Ferreira Galdino 
Exército Brasileiro.
Instituto Militar de Engenharia.
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
galdino.juraci@eb.mil.br

José Adalberto França Junior 
Agência de Gestão e Inovação
Tecnológica (AGITEC).
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
betoordie@gmail.com

Recebido: 09 abr. 2021

Aprovado: 20 out. 2021

COLEÇÃO MEIRA MATTOS

ISSN on-line 2316-4891 / ISSN print 2316-4833

<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/index>



1 Introdução

A eficiência do Sistema Nacional de Inovação (SNI) é essencial para o crescimento econômico (LUNDVALL, 2010) e para o desenvolvimento de tecnologias importantes para garantir a soberania de um país (GALDINO, 2019; SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020). Portanto, dispor de indicadores confiáveis capazes de avaliar o desempenho do SNI de um país é fundamental para subsidiar estudos e análises que visam identificar gargalos e tendências de um SNI (AVELLAR; BRITO, 2015); levantar informações para estabelecer políticas e ações estratégicas voltadas para incrementar a capacidade de inovação tanto no âmbito nacional, quanto setorial (SANTOS, 2014; SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2021); e avaliar a eficácia das políticas e ações estratégicas em vigor (KHEDHAOURIA; THURIK, 2017).

Dentre os principais indicadores de inovação de âmbito nacional, destaca-se o Índice Global de Inovação, produzido pelo Global Innovation Index (GII) (DUTTA, S. et al. 2018; KOSE; TOPÇU, 2016), que infere sobre a capacidade de um SNI a partir de um agregado de cerca de 80 variáveis, aqui denominadas de variáveis de base (VB).

Indicadores de inovação, como os produzidos pelo GII, despertam a atenção de especialistas, agentes públicos, empresários e investidores. Para exemplificar os efeitos que esses indicadores podem produzir na esfera pública, traz-se à baila um caso recente ocorrido no Brasil. Motivado pelos pífios resultados do País divulgados pelos indicadores do GII, o Tribunal de Contas da União (TCU) auditou políticas públicas relacionadas com a área de inovação e concluiu pela necessidade de realização de estudos a serem coordenados pela Casa Civil da Presidência da República e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (BRASIL, 2019) voltados para a criação de uma Política Nacional de Inovação eficiente e eficaz, que fosse capaz de melhorar a posição do País no ranking da inovação (SCHONS; PRADO FILHO; GALDINO, 2020). O TCU é um exemplo de órgão público que vem ampliando seu campo de atuação, passando a avaliar não apenas os aspectos formais da legalidade de procedimentos, mas também o desempenho e resultados alcançados por outros órgãos e entidades públicas (GOMES, 2006).

Divulgados anualmente desde 2007, os indicadores do GII tratam a inovação de forma ampla, considerando em suas métricas variáveis que mensuram investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), patentes de invenção e artigos científicos, bem como outras que capturam informações sobre instituições, infraestrutura, recursos humanos e pesquisa, mercado, aspectos ligados ao setor empresarial e produtos de inovação (DUTTA et al., 2018). A grande quantidade de países avaliados e a disponibilidade de volumosa base de dados tornam esses índices ainda mais atrativos para a análise da capacidade de inovação de um país (KOSE; TOPÇU, 2016), particularmente a partir de 2013, quando a arquitetura dos indicadores constituída de índices, subíndices, pilares e subpilares vigente foi inaugurada.

Apesar da manutenção dessa arquitetura, o cálculo dos índices, subíndices, pilares e subpilares do GII depende de variáveis de base que são propensas à mudanças metodológicas, face à busca incessante de aperfeiçoamento do entendimento do fenômeno de inovação e de suas formas de medição (JANGER et al., 2017). Essas mudanças, às vezes expressivas, como a inclusão ou

supressão de variáveis de base (DUTTA et al., 2018), geram anomalias na evolução temporal dos indicadores (índices, subíndices, pilares e subpilares do GII) que podem levar à conclusões equivocadas sobre o SNI.

Além das mudanças metodológicas do GII, outros fatores geradores de anomalias podem comprometer a precisão das análises de tendências e gargalos da capacidade de um SNI (DUTTA et al., 2018), tornando-se fundamental desenvolver procedimentos capazes de auferir sobre a confiabilidade das variáveis de base. Um passo importante nesse intento é detectar e classificar essas anomalias.

Outro aspecto fundamental na contextualização deste artigo advém da premissa de que políticas de âmbito nacional tendem a provocar efeitos incrementais (FAGERBERG; MOWERY; VERSPAGEN, 2009; GROENEWEGEN; STEEN, 2006; MICALE, 1990; SOGNER, 2009), especificamente produzindo nos SNI efeitos de longo prazo e mudanças lentas e graduais (NELSON; WINTER, 1982). Essa premissa ressalta a importância das análises que consideram indicadores de sucessivos anos (doravante nominada análise evolutiva) em detrimento daquelas que adotam apenas indicadores de um único ano (aqui definido como análise estática), pois aquelas facilitam o estudo sobre tendências e análises dos resultados das políticas de inovação (FAGERBERG; MOWERY; VERSPAGEN, 2009; GROENEWEGEN; STEEN, 2006; SOGNER, 2009), auxiliando no diagnóstico dos benefícios das estratégias de inovação sobre a competitividade e o crescimento econômico de uma nação (LUNDEVALL, 2007).

Adicionalmente, tal premissa sugere que existe um “padrão de normalidade”, segundo o qual “indicadores confiáveis” que capturam os resultados dessas políticas públicas não tendem a sofrer mudanças bruscas com o tempo. Neste artigo, anomalias se referem às mudanças abruptas no comportamento de indicadores de inovação no curto prazo, como no intervalo de um ano. Em condições normais, mudanças abruptas nos indicadores de um país são pouco prováveis, por violarem a expectativa de mudanças incrementais de um SNI ao longo do tempo (NIOSI et al., 1993). A existência desse padrão de normalidade possibilita o uso de ferramentas de análise de series temporais no sentido de identificar incoerências nos indicadores de inovação, particularmente nos do GII.

No entanto, até onde concerne o conhecimento dos autores, os estudos que utilizam os indicadores do GII, com o intuito de analisar tendências, gargalos e capacidade de um SNI, desconsideram ou dedicam pouca atenção aos eventuais problemas ocasionados por anomalias nos dados utilizados nas análises. Aqui, defende-se que essas anormalidades podem provocar conclusões equivocadas sobre resultados de políticas e de ações estratégicas direcionadas à área de inovação, prejudicando tanto análises quanto investimentos e planejamentos estratégicos. É mister desenvolver procedimentos capazes de inferir sobre a confiabilidade dos dados, antes de que eles sejam utilizados nos estudos de tendências. Um passo importante nesse intento é detectar e classificar as anomalias dos indicadores.

Nesse contexto, este trabalho visa conceituar anomalias, classificar seus tipos e propor um procedimento para identificá-las de forma automatizada, considerando as medições das VB do GII. O método proposto é avaliado para os Produtos de Inovação do Brasil de 2013 até 2019.

O restante deste artigo é organizado da seguinte maneira. Na Seção 2 é realizada uma revisão bibliográfica sobre estudos que utilizam indicadores do GII em análises estáticas e evolutivas, bem como se discute a existência de anomalias nesses indicadores e a dificuldade que eles impõem às análises. Na Seção 3 é discutido brevemente o conceito de anomalia na literatura de estatística. Na Seção 4, discute-se a pertinência de se empregar a premissa do incrementalismo em Sistemas Nacionais de Inovação. Na Seção 5, discute-se a metodologia adotada neste trabalho. Na Seção 6, apresenta-se o estudo de caso para a aplicação do método proposto. Por fim, são apresentadas as discussões dos resultados alcançados na Seção 7 e principais conclusões do trabalho na Seção 8.

2 O uso do GII na análise de sistemas nacionais de inovação

O desempenho de um SNI expressa a capacidade de inovação nacional, definida como a habilidade de um país em gerenciar seus recursos para produzir novos conhecimentos, transformando-os em tecnologias e produtos para benefício de todo o sistema econômico (FAGERBERG; SRHOLEC, 2008). A capacidade de inovação nacional é avaliada não apenas pelos próprios resultados de inovação produzidos pelo sistema, mas também por intermédio dos insumos de inovação, muitas vezes decorrentes de políticas públicas, indispensáveis para se criar um ambiente favorável à geração de inovações (KHEDHAOURIA; THURIK, 2017).

Vários estudos que se apoiam nos indicadores do GII são realizados com o objetivo de analisar o impacto de políticas de inovação e comparar a capacidade de inovação dos países. Por exemplo, a partir do banco de dados do GII de 2015, Jankowska, Matysek-Jędrych e Mroczek-Dąbrowska (2017) analisaram a correlação entre insumos e produtos de inovação e verificaram que 23 países não apresentam a esperada correlação positiva entre esses fatores, dentre eles Polônia e Bulgária. Enquanto a Polônia possuía altos esforços de inovação e produtos insatisfatórios, a Bulgária apresentava situação oposta.

Considerando os dados do GII de 2015, Crespo e Crespo (2016) identificaram combinações de indicadores que podem proporcionar excelente performance inovativa, as quais diferem para países de alta renda em relação aos de baixa renda. Esse estudo se alinha a outros que indicam que as políticas públicas necessárias para promover a inovação devem ser particularizadas de acordo com o nível de desenvolvimento do país (KONDO, 2001).

Outras análises estáticas são apresentadas nos relatórios do GII. Por exemplo, no de 2018 (DUTTA et al., 2018) discute-se e compara-se países líderes dos grupos de economias de rendas altas e médias. Com base nos dados desse relatório, Saisana, Domínguez-Torreiro e Vértesy (2018) buscam estabelecer coerência estatística entre insumos, produtos e classificações dos países, inferindo sobre anomalias e erros de medição nos dados. De forma análoga, Famalika e Sihombing (2021), baseando-se nos dados do GII 2018, compararam duas técnicas de análise de cluster para agrupar diferentes países com desempenhos semelhantes.

Todavia, apesar de inferir sobre a capacidade de inovação de um país em um dado momento, a análise estática é especialmente limitada para estudos de tendências. Visando suplantar essas dificuldades, é preciso lançar mão de análises que consideram séries temporais de indicadores. Não obstante os benefícios, análises evolutivas são bastante complexas em razão das anomalias.

Utilizando a abordagem conhecida como metodologia qualitativa de análise comparativa de lógica fuzzy (fsQCA) (RAGIN, 2008), Khedhaouria e Thurik (2017) chegaram a diferentes combinações de insumos de inovação que proporcionam maior impacto na capacidade de inovação nacional. Para tanto, eles analisaram a base de dados do GII entre 2012 e 2015. Todavia, mencionaram que a falta de alguns indicadores e a ocorrência de anomalias impossibilitou a realização de uma pesquisa mais abrangente.

Milenkovic et al. (2019) analisaram a correlação entre indicadores do GII e do SSI (Índice de Sustentabilidade Social) para o período de 2010 a 2016. Os autores relataram dificuldades na realização do estudo por causa das mudanças de variáveis e metodologias do GII após 2010.

Com base nos indicadores do GII de 2008 a 2013, Franco e Oliveira (2017) analisaram o desempenho dos SNI dos países que compõem o denominado BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul). Nesse estudo, os autores utilizaram uma análise de regressão para determinar a correlação entre insumos de inovação e produtos de inovação e inferiram sobre o impacto de cada indicador na classificação do país no ranking do GII. No entanto, os autores se depararam com mudanças metodológicas e outras anomalias presentes nos relatórios do GII de 2008 a 2013.

Utilizando os indicadores do GII de 2013 até 2017, Galdino (2018) realizou análise de tendências dos SNI agrupando os países em quartis, conforme o valor dos indicadores de inovação. Apesar das importantes conclusões, esse trabalho não detectou, nem classificou ou tratou as anomalias. Empregando os mesmos indicadores, Galdino (2019a) identificou gargalos e tendências dos Insumos de Inovação do SNI do Brasil. Nesse estudo, o autor deparou-se com a falta de dados, mudanças metodológicas do GII e variáveis com valores estranhos. Para tentar suplantar os efeitos desses problemas na identificação dos gargalos e das tendências foram realizados exercícios contrafactuais. Todavia, ele não generalizou o procedimento adotado e nem propôs uma técnica para identificar anomalias e tratar os problemas identificados de forma automática, adotou-se um procedimento empírico.

Valendo-se de dados do World Economic Fórum de 1996 a 2012 da China, Wang, Zhao e Zhang (2016) analisaram o SNI Chinês com foco na defasagem temporal entre investimentos em insumo de inovação e os resultados em termos de produtos de inovação. Nesse estudo, os autores se depararam com dados faltantes na variável que mensura a colaboração entre indústria e academia para o período de 1996 a 2006 e preencheram a série temporal considerando-se como valores faltantes os dados de 2007, sem discorrer sobre os efeitos e justificativas quanto à pertinência desse procedimento.

O próprio GII reconhece, em seu Anexo 2, a existência dos fatores geradores de anomalias em suas variáveis de base e, por isso, recomenda cautela nas análises evolutivas (DUTTA; LAVIN; WUNSCH-VICENT, 2017). Por exemplo, no relatório de 2017, realiza-se uma análise evolutiva do desempenho dos dez países mais bem classificados ao longo dos cinco anos precedentes. Nessa análise, são observadas alterações significativas na classificação da Holanda, particularmente, entre os anos de 2015 e 2017, e comenta-se que isso pode ter ocorrido como resultado de mudanças de metodologia ou de falta de dados, sugerindo que a variação abrupta da posição da Holanda no ranking mundial não seria confiável. No entanto, o GII não aprofunda a análise dessa problemática, nem discute como resolver eventuais problemas (DUTTA et al., 2018).

A importância de se identificar e tratar anomalias nas séries temporais é enfatizada por Refaat e Hadi (2018) como mecanismo essencial para aumentar a confiabilidade das análises e descrever de forma mais precisa o fenômeno em estudo. Por outro lado, sem a identificação e o tratamento de anomalias pode-se comprometer os resultados de análises frequentemente utilizados para subsidiar a formulação de políticas públicas e decisões de empresários e de investidores.

Portanto, de uma forma geral, a análise de séries temporais de indicadores de inovação de um SNI pode gerar conclusões equivocadas sobre o comportamento de um país, caso não se adote um método de identificação e correção de anomalias eficiente e eficaz. Na tentativa de evitar problemas de anomalias, alguns estudos, como o realizado por Porto e Memória (2019), restringem o período de análise, suprimindo os anos que contém anomalias. Outros utilizam procedimentos simples na tentativa de mitigar anomalias, como repetindo-se dados ou utilizando-se médias para substituir dados inexistentes. Há ainda os trabalhos omissos com relação a essa problemática.

3 Anomalias em séries temporais

Em estatística, anomalia, ou outlier, pode ser definida como uma observação que se desvia bastante das demais, causando suspeita quanto a forma como foi gerada (HAWKINS, 1980). Em outras palavras, uma anomalia representa uma não conformidade em relação a um comportamento esperado, sendo considerada uma exceção (CHANDOLA; BANERJEE; KUMAR, 2009). Detecção de anomalias tem sido estudada em uma variedade de aplicações, como em detecção de intrusão em cyber defesa, detecção de fraudes em cartão de créditos, ou contabilidade fraudulenta na indústria (BLÁZQUEZ-GARCÍA et al., 2021; GUPTA et al., 2014). Muitos desses estudos são baseados em análise de série temporal (GUPTA et al., 2014).

Alguns métodos de análise de anomalias em séries temporais tem sido propostos, visando, por exemplo, treinamento de modelos de acordo com a classe de anomalias, otimização de limiares para aperfeiçoar a detecção de anomalias, ou predição de série temporal baseada em deep-learning (BUDA; CAGLAYAN; ASSEM, 2018). Todavia, as especificidades das técnicas e de seus parâmetros e os desempenhos obtidos dependem essencialmente da aplicação (BLÁZQUEZ-GARCÍA et al., 2021), sendo, portanto, difíceis de serem generalizadas para uma gama diversificada de problemas.

4 Políticas públicas e o incrementalismo da inovação

Tendo em vista o grande número de variáveis desconhecidas que influenciam ou são influenciadas pelas políticas públicas, geralmente os formuladores de políticas adotam posturas conservadoras nas tomadas de decisão relativas à gastos, orçamentos, impostos e outros fatores de cunho social (AINSWORTH; HALL, 2011; CARDOSO JÚNIOR; CASTRO, 2016; WILDAVSKY, 1966). Como consequência, as políticas públicas dificilmente causam mudanças abruptas na realidade nacional (MICALE, 1990). Elas normalmente produzem efeitos ou resultados de forma lenta e gradual, conforme sugerido pela teoria do incrementalismo (LINDBLUM, 1959). O incremen-

talismo nesse contexto, equivale à mudanças marginais que ocorrem em pequenos passos, continuando os padrões de pensamento e *modus operandi* já aceitos pela sociedade (BRAYBROOKE; LINDBLOM, 1970; TEIXEIRA; MISSIO, 2011; WILDAVSKY, 1966).

No campo da inovação tecnológica, as inovações incrementais, que em essência produzem mudanças pequenas, são mais frequentes do que as radicais e disruptivas (DOSI, 1982; FREEMAN; SOETE, 1997; JANGER et al., 2017; LUNDVALL, 2010). Em muitos casos, inovações radicais podem prejudicar o retorno de investimentos de tecnologias difundidas e aceitas no mercado, fazendo com que grandes empresas adotem posturas conservadoras, em detrimento do lançamento de novidades que prejudiquem os produtos ou serviços que estão sendo comercializados. Essa tendência, portanto, tem levado a uma maior ocorrência de inovações incrementais ao invés de radicais em diversas indústrias (JANGER et al., 2017).

Adicionalmente, a condição incremental da inovação tende a ser mais intensa nos países emergentes, cujas empresas de base tecnológica normalmente iniciam o seu negócio a partir de tecnologias adquiridas de empresas estrangeiras (HOBBDAY, 1997; KIM, 2005). Nesses países, essas empresas adotam com frequência técnicas de inovação por imitação, não dominam tecnologias críticas e se engajam em um processo gradual e crescente de aprendizagem e acúmulo de capacidades tecnológicas (FIGUEIREDO, 2004; KIM, 2005).

Cabe destacar que mesmo quando inovações radicais ocorrem no âmbito empresarial, seus sinais se manifestam antecipadamente e de forma progressiva e podem ser capturados pelas diversas variáveis de um SNI, como aquelas relacionadas com a indicação de investimentos em P&D, publicações científicas, patentes, criação de startups etc (MAZZUCATO, 2014).

Portanto, as inovações radicais decorrem de ações que se processam ao longo do tempo, desde o surgimento de ideias e invenções que se desenvolvem, percorrendo um longo caminho até se transformarem em produtos e serviços de sucesso (TROT, 2008). O efeito “radical” é percebido a partir do ponto de vista do mercado, em que tanto o usuário final quanto as empresas promotoras dessas inovações se deparam com mudanças de hábitos, competências, capacidades e procedimentos (AFUAH; BAHRAM, 1995). Toda inovação considerada radical para uma entidade que a recebe, como o consumidor final ou uma grande empresa integradora, resulta de um laborioso processo de inovação incremental empreendido pela entidade que a proveu, como empresas fornecedoras de componentes (AFUAH; BAHRAM, 1995). A inovação, portanto, pode ser considerada como um fenômeno que ocorre na sociedade moderna, cujos processos acontecem de forma gradual e cumulativa, podendo, inclusive, advir de combinações de possibilidades e componentes preexistentes, ou seja, as inovações futuras são sempre dependentes do passado (LUNDVALL, 2010).

Nessa conjuntura, as inovações radicais, importantes no contexto empresarial pelos seus reflexos no aumento da produtividade e competitividade das firmas (AFUAH; BAHRAM, 1995; MAINE; THOMAS; UTTERBACK, 2014; SCHUMPETER, 1961), não necessariamente causam mudanças abruptas em um SNI (NIOSI et al., 1993). Segundo a teoria evolucionária (NELSON; WINTER, 1982), design dominantes e regimes tecnológicos evoluem em ciclos incrementais, fazendo com que mudanças sistêmicas de abrangência nacionais ocorram lentamente.

Diante de todo o exposto, é razoável admitir que indicadores fidedignos de SNI não experimentam mudanças abruptas com o tempo. Neste artigo, o conceito do Incrementalismo da Inovação se refere a esse processo em que os sinais ou efeitos de inovações incrementais e radicais são capturados progressivamente por indicadores de inovação implementados a nível nacional, como os do GII.

5 Metodologia

Inicialmente, a partir de uma abordagem exploratória, e com base no incrementalismo da capacidade de inovação de um país, formalizou-se o conceito de anomalias. Cabe destacar que estudos exploratórios são adequados quando se conhece pouco da realidade em questão e se pretende abrir um caminho para novas pesquisas (YIN, 1994).

Em segundo lugar, a partir de pesquisa bibliográfica, tendo como fonte artigos científicos, e pesquisa documental, a partir de relatórios do GII, buscou-se identificar a frequência de ocorrência de anomalias nos dados do GII e os efeitos dessas anomalias nas análises de SNI. Todos esses fatores geradores de anomalias foram triangulados nos diversos documentos coletados, reforçando assim a validade interna da pesquisa (RIEGE, 2003).

Em terceiro lugar, adotando-se como premissas o incrementalismo e a modelagem gaussiana das VB do GII e utilizando-se ferramentas de inferência estatística, desenvolveu-se um método para detecção automática de anomalias. Cabe mencionar que, à primeira vista, pode-se pensar que a maneira mais simples de se detectar anomalias é consultando os próprios relatórios do GII. Entretanto, essa abordagem é laboriosa, ineficiente e ineficaz. O GII trabalha com um conjunto muito grande de variáveis (da ordem de 80) e coleta dados de cerca de 200 países, portanto, a análise minuciosa de forma manual de todos esses dados para identificar problemas demanda bastante tempo. Adicionalmente, problemas de coleta ou de processamento dos dados não são frequentemente apontados nos relatórios. Além disso, a mera identificação de anomalias não é suficiente para inferir sobre eventuais problemas nas análises de SNI, pois em alguns casos elas exercem pouca influência nos valores das VB. O ponto fulcral é identificar as principais anomalias, no sentido dos impactos provocados na avaliação dos países, e classificá-las conforme categorias específicas para tratá-las de forma adequada.

Em quarto lugar, realiza-se, com apoio dos relatórios do GII, a classificação de anomalias, segundo duas categorias: metodológicas e inconsistências. Como mudanças metodológicas são consideradas alterações no cálculo das variáveis de base, bem como a inclusão e exclusão de VB. Repise-se que apesar de aprimorarem a qualidade dos indicadores e de acomodarem os aperfeiçoamentos na compreensão do fenômeno de inovação, verificou-se que frequentemente essas modificações provocam distúrbios nas séries temporais, constituindo-se em fontes de anomalias, sob a perspectiva do incrementalismo. Nas inconsistências, por seu turno, são incluídas questões de ordem prática, como falta de dados e problemas na geração, coleta e processamento dos dados.

Por fim, realizou-se análise do funcionamento do procedimento proposto discutindo o seu uso nos indicadores de Produtos de Inovação do Brasil para o período de 2013 até 2019.

5.1 Método proposto para detecção e classificação de anomalias

As séries temporais dos indicadores de base do GII, como discutido previamente, podem conter diversas anomalias capazes de prejudicar a confiabilidade de estudos sobre o SNI de um país. O conceito do incrementalismo da inovação, explorado na Seção 4, sugere que ocorrem variações brandas dos indicadores do GII em anos consecutivos, neste trabalho, propõe-se uma metodologia para identificar dados que fogem a esse padrão normal, condição entendida como variações muito significativas em um curto intervalo de tempo para fenômenos que se manifestam em âmbito nacional. Para reduzir subjetivismos com relação ao emprego do incrementalismo e evitar uma discussão infrutífera visando quantificar o significado de “variações muito significativas”, a metodologia emprega testes de hipótese para identificar as situações supostamente anômalas. Em suma, neste artigo, propõe-se adotar uma modelagem probabilística para descrever as VB do GII e, a partir dessa modelagem, constrói-se um teste estatístico para inferir sobre a “normalidade” dos dados divulgados nos relatórios do GII.

As variáveis de base do GII inferem sobre fenômenos complexos que resultam da influência de muitos fatores desconhecidos. Considerando que tais fatores são modelados probabilisticamente e que eles se combinam para gerar o fenômeno físico medido pela VB, pode-se recorrer ao clássico Teorema Central do Limite e admitir como válida a premissa de que tais variáveis podem ser descritas por distribuições gaussianas, cujos parâmetros estatísticos (média e variância) permanecem praticamente constantes ao longo do tempo, por conta da premissa do incrementalismo. Assim sendo, a série temporal das variáveis de base do GII podem ser definidas como uma função amostra de um processo estocástico gaussiano.

Considerando-se que existem N_{VB} variáveis de base ao longo de J anos, as quais são representadas por X_{ij} , para $i = 1, 2, \dots, N_{VB}$ e $j = 1, 2, \dots, J$, sendo $j = 1$, o índice que especifica o primeiro ano da série temporal e $j = J$ o último. Sejam ainda μ_{ij} e σ_{ij} , respectivamente, a média e o desvio-padrão de X_{ij} .

Assim sendo, a variável aleatória Z_i para $i = 1, 2, \dots, N_{VB}$ definida da seguinte maneira:

$$Z_i = \sum_{j=1}^J X_{ij}^2 \quad \text{Eq. 1}$$

possui distribuição Qui-quadrado com grau de liberdade $GL = J - 1$.

Define-se a variável de teste S_i , associada a i -ésima variável de base do GII X_i da seguinte maneira:

$$S_i = \sum_{j=1}^J \left[\frac{(X_{ij} - \mu_{ij})^2}{\mu_{ij}} \right] \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, N_{VB}. \quad \text{Eq. 2}$$

Adotando-se a premissa do incrementalismo, pode-se admitir como insignificante eventuais alterações dos parâmetros estatísticos das variáveis aleatórias que modelam os indicadores de base, especialmente quando se considera um intervalo de tempo de poucos anos. Assim sendo, pode-se aproximar a variável aleatória S_i por:

$$S_i = \sum_{j=1}^J \left[\frac{(X_{ij} - \mu_i)^2}{\mu_i} \right] \text{ para } i = 1, 2, \dots, N_{VB}. \text{ Eq. 3}$$

Estimando-se a média a partir dos dados da série temporal dos indicadores de base, a Eq.3 pode ser obtida, na prática, da seguinte maneira:

$$S_i = \sum_{j=1}^J \left[\frac{(X_{ij} - \hat{\mu}_i)^2}{\hat{\mu}_i} \right] \text{ para } i = 1, 2, \dots, N_{VB}. \text{ Eq. 4}$$

Sendo $\hat{\mu}_i$ um estimador não polarizado da média de X_{ij} , obtido a partir dos dados disponibilizados nos relatórios do GII para os anos em análise. Nesse contexto, S_i expresso pela Equação 4, pode ser bem aproximada por uma variável aleatória Qui-quadrado.

Tomando-se S_i como estatística de teste, pode-se definir um teste de hipótese para verificar se as observações do i -ésimo indicador seguem uma distribuição Qui-quadrado, fato que pode servir para inferir sobre a normalidade dos dados divulgados pelo GII, pois tal modelagem estatística foi obtida considerando restrições impostas pela premissa do incrementalismo.

Propõe-se a seguinte definição da hipótese nula do Teste de Hipótese: “não há evidências de anomalias nos dados”. Isso significa dizer que os dados são bem comportados, oscilando em torno da média aritmética dos valores obtidos para os anos considerados $\hat{\mu}_i$, seguindo uma distribuição gaussiana de tal sorte que a variável de teste, diante da hipótese de normalidade, possui uma distribuição Qui-quadrado. As mudanças abruptas seriam consideradas como indício da ocorrência da hipótese alternativa definida como “há evidências de anormalidade nos dados divulgados pelo GII”. Tal teste de hipótese se ampara na perspectiva de que não é razoável que indicadores de inovação de âmbito nacional apresentem variações abruptas. Repise-se que isso não significa que as VB não devam se alterar ao longo do tempo, mas que se comportem conforme uma variável aleatória gaussiana cujos parâmetros estatísticos mudam incrementalmente ao longo do tempo.

Portanto, se a hipótese nula é verdadeira, S_i , a estatística de teste, segue uma distribuição Qui-quadrado. O risco dessa hipótese ser rejeitada erroneamente (erro do Tipo I) é denominado de nível de significância, α , geralmente um valor muito menor do que 1. Ou seja, quando o teste de hipótese indicar como sendo verdadeira a normalidade dos dados, conforme definição aqui apresentada para essa condição, haverá $1 - \alpha$ de probabilidade dessa assertiva representar a verdade dos fatos, sendo esse valor tão próximo de 100% quanto se queira, atribuindo-se um α adequado.

A confirmação da hipótese nula dar-se-á quando a observação estiver contida dentro da região de aceitação, ou, de forma análoga, fora da região de rejeição. Como o teste em comento é unilateral, essas regiões são delimitadas por um único valor crítico (V_c) o qual serve de referência para fins de comparação da variável de teste. Ou seja, a hipótese nula será verdadeira quando: $P(\chi^2_{GL} < V_c) = 1 - \alpha$, sendo χ^2_{GL} uma variável Qui-quadrado com grau de liberdade GL, no qual V_c é definido conforme valor de α . No caso concreto, o teste é o seguinte: se , decide-se pela normalidade dos dados, do contrário, pela ocorrência de anomalias.

O teste de hipótese ora apresentado separa as variáveis de base de um determinado país em dois conjuntos, aquelas que apresentam algum tipo de anormalidade nos dados para os anos considerados no estudo e aquelas que seguem o padrão de normalidade.

A próxima etapa do método consiste em classificar o tipo de anomalia a partir das variáveis de base que supostamente apresentam anormalidades. Isso é feito reaplicando-se o teste de hipótese e utilizando-se os relatórios do GII.

Inicialmente, utiliza-se o mesmo teste estatístico para identificar os anos que provocaram a violação da normalidade, suprimindo, progressivamente, dados da série temporal que apresentou anormalidade e repetindo-se o teste de hipótese para a série com dado suprimido até que a hipótese nula seja observada, indicando que os dados remanescentes da série temporal se comportam conforme padrão esperado.

Posteriormente, verifica-se para as variáveis de base e anos considerados anômalos a ocorrência de mudanças metodológicas a partir dos relatórios do GII. Caso não sejam identificadas mudanças metodológicas, decide-se pela ocorrência de inconsistência nos dados.

Sumarizando, o método proposto consiste dos seguintes passos:

1. Realizar um teste de hipótese para averiguar se as variáveis de base se comportam de forma coerente com a teoria do incrementalismo.
2. Criar o conjunto \mathbb{A} das variáveis de base que possuem dados anômalos
3. Para cada variável de base do conjunto \mathbb{A} realizar teste de hipótese para identificar os anos que tornaram a variável de base anômala.
4. Criar o conjunto \mathbb{B} formado pelos dados das variáveis de base dos anos considerados anômalos.
5. Para cada elemento do conjunto \mathbb{B} , classificar as anomalias entre mudança metodológica ou inconsistências, com apoio dos relatórios do GII.

6 Estudo de caso

Para aplicar o método proposto será utilizado como estudo de caso os indicadores de Produtos de Inovação do Brasil, de 2013 a 2019. Composto dos subpilares “Produtos de Conhecimento” e “Tecnologia e Produtos Criativos”, os Produtos de Inovação do Brasil, para o período considerado, representam uma boa escolha de compromisso entre limitação de espaço para discussão dos resultados da aplicação do método aqui proposto e a necessidade de se considerar um importante conjunto de indicadores do GII capaz de proporcionar riqueza de situações envolvendo anomalias.

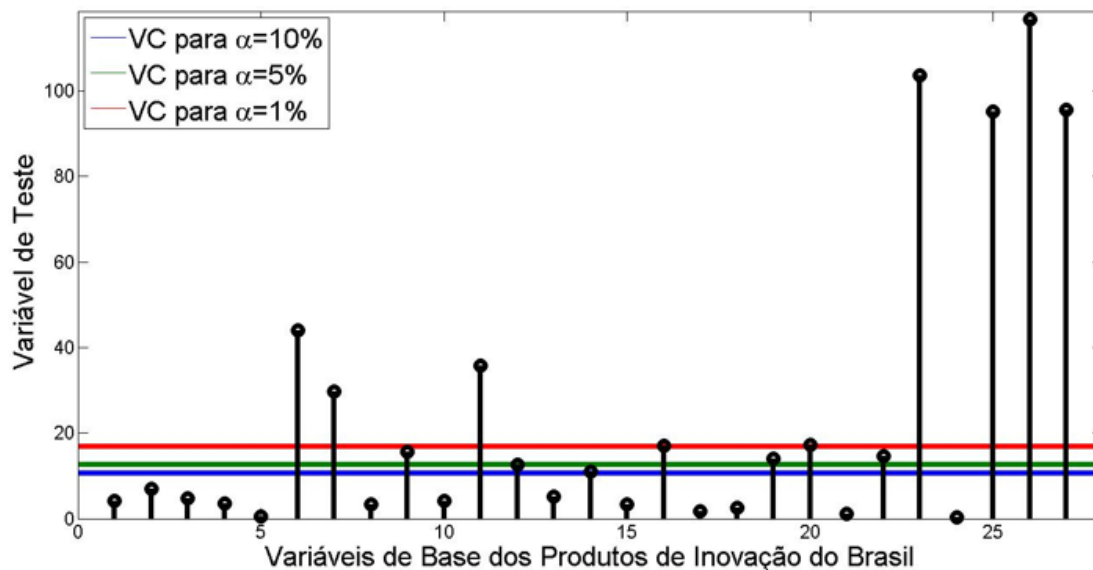
Como as séries temporais contém sete anos ($J = 7$), as variáveis Qui-quadrado que modelam os Testes de Hipótese (TH) possuem seis graus de liberdade ($GL = 6$). O Anexo A apresenta um quadro com os valores críticos (V_c) a serem utilizados nos testes de hipóteses, tanto para identificação de VB com anomalias, quanto dos anos em que elas se manifestam, neste caso o grau de liberdade da variável Qui-quadrado será menor do que 6. Os resultados aqui discutidos foram obtidos para os níveis de significância α de 1%, 5% e 10%, para esses valores de α , quando o teste indicar que os dados não apresentam anomalias, caso a modelagem proposta

capture adequadamente o padrão de normalidade nos dados, haverá, respectivamente, 99%, 95% e 90% de chance dos dados não apresentarem anomalias. Assim sendo, o analista pode ser mais rigoroso na identificação de dados duvidosos, adotando-se um valor pequeno para α , de modo que quanto menor o valor deste parâmetro mais conservador será o teste, na medida que se reduz a probabilidade de falso alarme (aquela de classificar como anômalo um dado normal), ao mesmo tempo que se aumenta a probabilidade de perda (ou seja, a probabilidade de não se identificar dados anômalos). Dessa forma, se a modelagem se mostrar aderente ao fenômeno real, o analista passa a contar com um critério objetivo para identificar anomalias.

Para obter os seus indicadores de Produtos de Inovação, o GII utiliza os pilares Produtos de Conhecimento e Tecnologia e Produtos Criativos. Cada um deles resulta da média de três subpilares, que, por sua vez, são formados pelo agregado de três a cinco variáveis de base, listadas no Anexo B.

Os resultados dos TH são mostrados no Gráfico 1, em que as linhas horizontais coloridas são os valores críticos em função de α e as verticais os valores das variáveis de testes das 27 VB dos Produtos de Inovação do GII para o Brasil, indexados por i , conforme informado no Anexo B. Quando o valor da variável de teste da variável de base supera o valor crítico, o teste estatístico indica que os dados da VB em estudo não seguem o padrão estabelecido, o que ocorreu com 14 das 27 variáveis de base para α igual a 10%, essa quantidade cai para 13 VB quando se usa o valor de α igual a 5% e para 9 com α igual a 1%. Esse comportamento do teste de hipótese é uma evidência objetiva de que a modelagem é coerente.

Gráfico 1- Valores das variáveis de teste dos Produtos de Inovação e VC em função de α



Fonte: Os autores (2021).

O Quadro 1 apresenta a relação de variáveis de base do Brasil cujos dados são considerados anômalos em função do valor de α

Quadro 1 - Classificação das variáveis de base conforme o resultado do teste estatístico.

α	i	Cód	Variáveis de Base com Anomalias Conjunto $\hat{\mathbb{A}}$
0,01	6	6.2.1	Growth rate of GDP per person engaged;
	7	6.2.2	New business density;
	11	6.3.1	Royalties and license fees receipts (% service exports);
	16	7.1.2	Madrid system trademark registrations by country of origin;
	20	7.2.2	National feature films produced;
	23	7.2.5	Creative goods exports
	25	7.3.2	Country-code top-level domains (ccTLDs)
	26	7.3.3	Wikipedia monthly edits
	27	7.3.4	Video uploads on YouTube
0,05	9	6.2.4	ISO 9001 quality certificates;
	12	6.3.2	High-tech exports;
	19	7.2.1	Audiovisual and related services exports;
	22	7.2.4	Printing and publishing output; e todas as obtidas com $\alpha = 0.01$.
0,10	14	6.3.4	Foreign direct investment net outflows; e todas as obtidas com $\alpha = 0.05$.

Fonte: Os autores (2021).

A análise que se segue será apoiada pela Variação Percentual Anual (VPA) em relação à média da Variável de Base i entre os anos j e $j+1$ ($VPA_{i,j}$), definida da seguinte forma:

$$VPA_{i,j} = \frac{(X_{i,j+1} - X_{i,j})}{\hat{\mu}_i} 100\% \quad \text{Eq. 5}$$

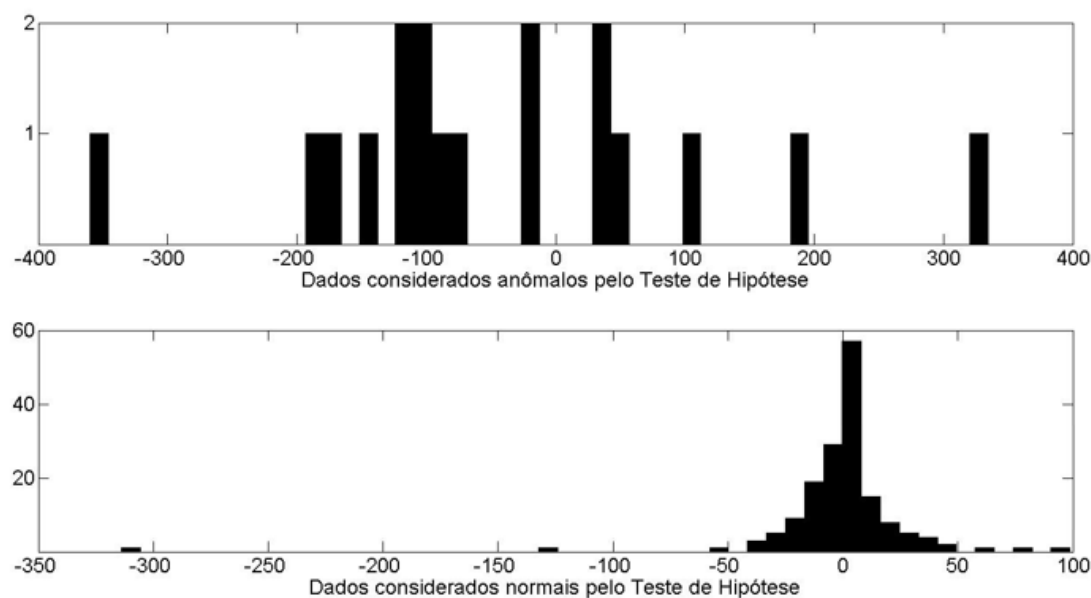
O Gráfico 2 apresenta os histogramas para as variações percentuais em relação à média das variáveis de base dos dados considerados anômalos e normais pelo TH com $\alpha = 0,10$. Ela mostra claramente que o Teste de Hipótese guarda correlação com a premissa do incrementalismo, visto que as supracitadas variações são pequenas para os dados tidos como normais e grandes para os detectados como anômalos. Dos 189 dados utilizados para obter esse resultado (27 variáveis de base de 2013 até 2017), 171 foram considerados normais, dos quais em apenas 6 obteve-se uma variação percentual em relação à média da variável de base maior ou igual a 50%, o que representa somente 3,5% dos dados. Ao passo que, 14 dos 18 considerados anômalos possuem uma variação percentual superior 50%, ou seja, 78% dos dados.

Evidentemente, os procedimentos de detecção são sujeitos a erros de perda e de falso alarme. No caso concreto, é possível que algumas anomalias tenham sido classificadas como normais e alguns dados normais como anômalos, incluindo-se erroneamente tanto valores de grandes variações percentuais na parte inferior do Gráfico 2, quanto valores de pequenas variações percentuais na parte superior do Gráfico 2. Todavia, independentemente dos inevitáveis equívocos de testes de hipótese (probabilidade de perda e falso alarme), pode-se afirmar, certamente, que o procedimento separa os dados em dois grupos conforme as variações percentuais em relação às médias das variáveis de base do GII, sendo os

que apresentam menores variações considerados normais. Essa é uma evidência de que o teste proposto é capaz de separar as VB que apresentam variações abruptas daquelas com variações amenas.

Cabe reafirmar a coerência dos resultados apresentados no Quadro 1 com relação ao valor de α . À medida que o valor desse parâmetro diminui, o teste se torna mais conservador e, portanto, mais sensível para detectar anomalias.

Gráfico 2 - Histograma de VPA para dados anômalos (superior) e normais (inferior).



Fonte: Os autores (2021).

No Quadro 2 são apresentadas informações relacionadas com as variáveis de base classificadas como contendo anomalias pelo procedimento proposto neste trabalho. Essas informações abrangem não apenas os resultados do teste de hipótese, mas também a classificação da anomalia obtida com apoio dos relatórios do GII.

Para identificar as mudanças metodológicas ocorridas de 2013 até 2019 foram consultados os relatórios do GII que apresentam as variáveis de base dos Produtos de Inovação. Admitindo-se, preliminarmente, que o procedimento proposto classifica corretamente as anomalias, quando não se verifica mudança nos citados relatórios, conclui-se pela existência de inconsistências de medição (advindas, por exemplo, de erros de geração, coleta e processamento de dados e falta de dados), explicitando-se tal informação no Quadro 2.

Foram verificadas mudanças metodológicas em seis das quatorze VB contendo anomalias (6.3.1, 6.3.2, 7.2.1, 7.2.4, 7.3.3 e 7.3.4). Dessas, quatro produziram variações percentuais importantes e foram corretamente identificadas pelo procedimento proposto, inclusive o ano em que as mudanças ocorreram. As outras duas VB com mudanças metodológicas (6.3.2 e 7.3.4) não foram identificadas pelo procedimento proposto. Todavia, no caso do Brasil, conforme verificado no Gráfico 3, nos anos em que ocorreram as mudanças metodológicas (2014 na VB 6.3.2 e 2018 na VB 7.3.4) não houve

alterações significativas nas VB, de tal sorte que não se configura erro do método. Pelo contrário, ele atuou adequadamente ao apontar os anos em que ocorreram as principais alterações nessas duas VB.

Quadro 2 - Variáveis de base consideradas anômalas no Teste de Hipótese em função do valor de α e classificação da anomalia conforme os dados dos relatórios do GII.

α	Variável de Base		Anos		Tipo de anomalia Relatórios	$VPA_{i,j}$
	<i>I</i>	Código	TH	Relatórios		
0,01	6	6	2017	-	Inconsistência	101,1
	7	6.2.2	2017	-	Inconsistência	-142,8
0,05	9	6.2.4	2017	-	Inconsistência	-70,8*
0,01	11	6.3.1	-	2014	Metodológica	0,6*
			2015	2016	Metodológica	-118,2*
			-	2019	Metodológica	-13,1*
0,05	12	6.3.2	-	2014	Metodológica	-1,3*
			2017	2017	Inconsistência	41,2
			2018	2018	Inconsistência	40,4
0,10	14	6.3.4	2014	-	Inconsistência	-25,1
0,01	16	7.1.2	2013-2015	-	Inconsistência	**
0,05	19	7.2.1	2013	2014	Metodológica	98,8*
0,01	20	7.2.2	2013	-	Inconsistência	-172,3
0,05	22	7.2.4	2013	-	Inconsistência	-112,7
			2017	2018	Metodológica	43,2*
0,01	23	7.2.5	2013	-	Inconsistência	-313,8
			2018	-	Inconsistência	-57,5
	25	7.3.2	2014	-	Inconsistência	-179,7
	26	7.3.3	2016	2017	Metodológica	334,28
			2017	-	Inconsistência	-359,7
	27	7.3.4	2015	-	Inconsistência	-98,9
-			2018	Metodológica	-29,9*	

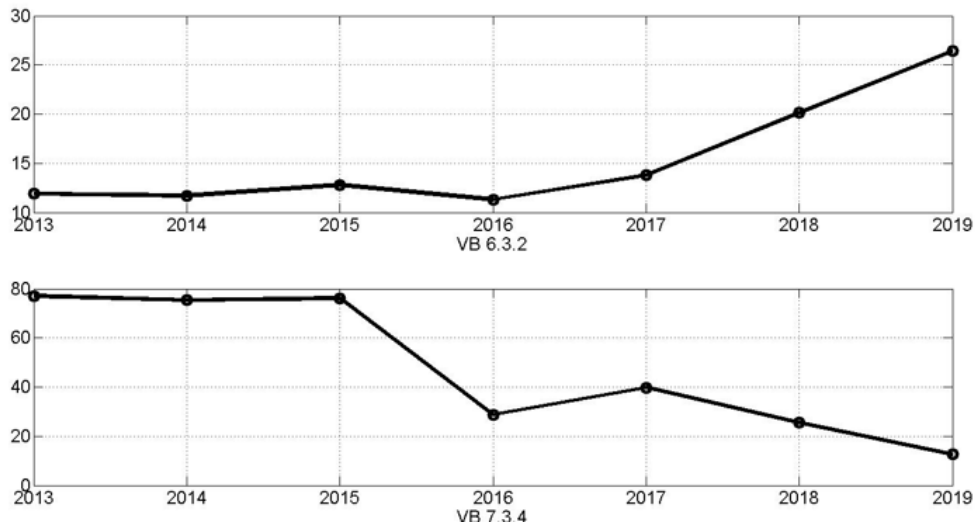
Fonte: Os autores (2021).

Notas:

* Nas mudanças metodológicas, o efeito na alteração da VB, em princípio, se manifesta no VPA do ano anterior.

** Não foram fornecidos os dados para a VB nos anos de 2013, 2014 e 2015. VPA retornou valor infinito.

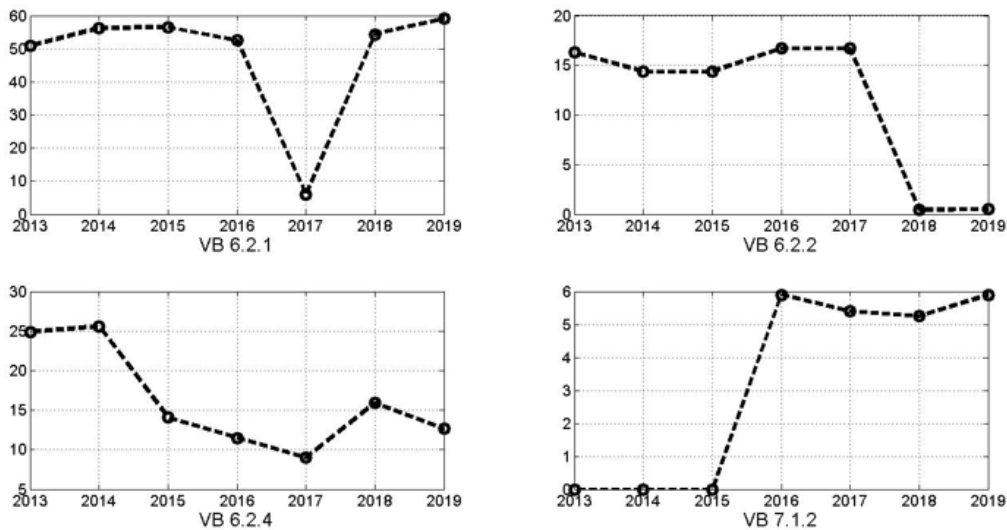
Gráfico 3 - Série temporal das VB anômalas com modificações metodológicas não identificadas pelo TH.



Fonte: Os autores (2021).

O Quadro 3 apresenta oito VB nas quais não foram constatadas mudanças metodológicas, dessa forma, segundo o procedimento proposto, infere-se pela presença de inconsistências. Tais VB (6.2.1, 6.2.2, 6.2.4, 6.3.4, 7.1.2, 7.2.2, 7.2.5, 7.3.2) possuem elevados valores de VPA. No Gráfico 4 são apresentadas as evoluções de quatro dessas VB, nela evidencia-se que as inconsistências estão associadas a variações significativas nos indicadores que precisam ser investigadas pormenorizadamente ou até mesmo tratadas para corrigir erros a fim de se realizar análises de tendências com confiabilidade. Em suma, os resultados sumarizados no Quadro 3 indicam que o método obteve sucesso na detecção de anomalias.

Gráfico 4 - Séries temporais de VB anômalas sem a ocorrência de mudanças metodológicas.



Fonte: Os autores (2021).

Quadro 3 - Informações obtidas dos relatórios do GII para as Variáveis de Base que não apresentaram anomalias no Teste de Hipóteses.

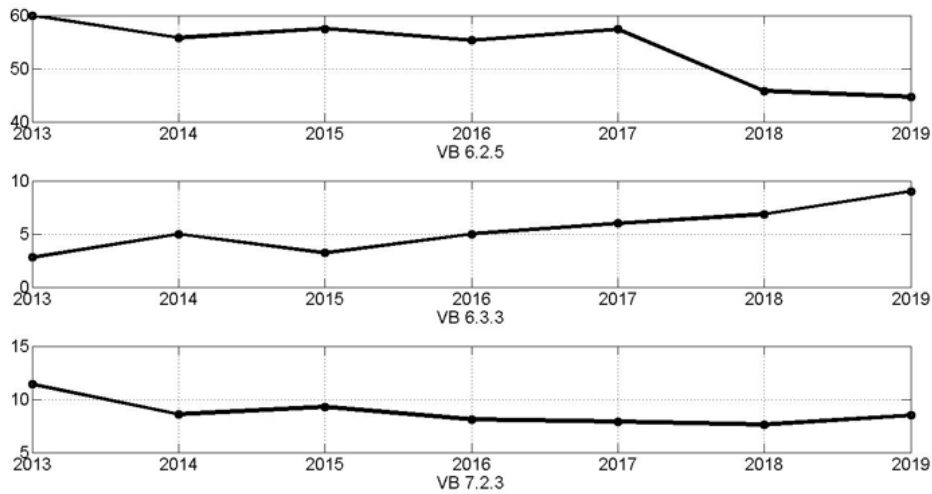
Variável de Base		Anos Relatórios	Tipo de anomalia Relatórios	Variação Percentual Anual* (%)
<i>I</i>	Código			
1	6.1.1	2013	Nenhuma	80,6
2	6.1.2	2014	Nenhuma	-125,3
3	6.1.3	2013	Nenhuma	59,3
4	6.1.4	2017	Nenhuma	-18,8
5	6.1.5	2014	Nenhuma	-12,1
8	6.2.3	2013	Nenhuma	30,6
10	6.2.5	2018	Metodológica	-21,5
13	6.3.3	2014	Metodológica	40,7
		2016	Metodológica	33,3
		2019	Metodológica	15,7
15	7.1.1	2013	Nenhuma	40,1
17	7.1.3	2014	Nenhum	-12,2
18	7.1.4	2014	Nenhum	-15,2
21	7.2.3	2014	Metodológica	-31,9
24	7.3.1	2013	Nenhum	-11,3

Fonte: Os autores (2021).

Notas: *Quando não são identificadas mudanças metodológicas, apresenta-se o VPA máximo da VB.

O Quadro 3 apresenta informações das 14 VB normais, segundo o procedimento aqui proposto. Delas, destacam-se três (6.2.5, 6.3.3 e 7.2.3) que sofreram mudanças metodológicas, configurando, em princípio, erro de detecção do teste estatístico. Entretanto, conforme mostrado no Gráfico 5, à exceção da VB 6.2.5, as demais mudanças metodológicas não provocaram alterações significativas nos indicadores do Brasil, motivo pelo qual não é cabível considerar que houve equívoco do procedimento proposto. Por outro lado, a mudança metodológica da VB 6.2.5 em 2018 parece estabelecer um novo patamar para o indicador, que deveria ter sido indicado pelo método proposto.

Gráfico 5 - VB com anomalias que não foram detectadas pelo método proposto.

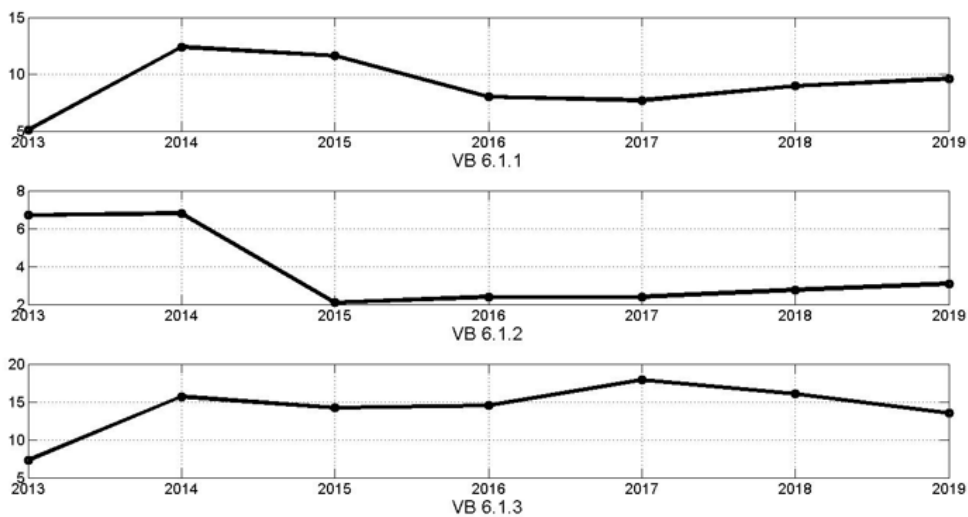


Fonte: Os autores (2021).

O Gráfico 6 mostra as VB normais com valores elevados de VPA. Dentre elas, chama atenção a variação ocorrida em 2015 da VB 6.1.2, que pode ser caracterizada como falha de detecção.

Em suma, de todos os casos analisados, o TH se equivocou em duas situações de um total de 37 reportadas nos Quadros 2 e 3, configurando-se em um excepcional desempenho para um teste de hipótese, uma taxa de acertos da ordem de 95%, coerente com o valor de α utilizada. Esse é um forte indício de que a modelagem matemática realizada com base na premissa do incrementalismo e na adoção de distribuição gaussiana para as VB e o teste proposto, que foi concebido a partir de aproximações amparadas pelo princípio do incrementalismo, são coerentes e eficientes na detecção das anomalias.

Gráfico 6 - VB sem anomalias com elevados valores de VPA.



Fonte: Os autores (2021).

7 Discussão

A partir da premissa do incrementalismo dos indicadores de um SNI, que sugere que mudanças abruptas em um SNI são improváveis (MICALE, 1990; NIOSI et al., 1993), este trabalho apresentou o conceito de anomalias nos indicadores do GII e desenvolveu uma técnica para detectar tais anomalias e classificá-las como metodológicas ou inconsistências. Essa técnica foi construída com base no entendimento usual de anomalia proveniente da literatura clássica de estatística (BLÁZQUEZ-GARCÍA et al., 2021; BUDA; CAGLAYAN; ASSEM, 2018; GUPTA et al., 2014), bem como no comportamento esperado de desenvolvimento incremental da capacidade de inovação de um país (MICALE, 1990; NIOSI et al., 1993).

Na revisão bibliográfica evidenciou-se que muitas pesquisas utilizam séries temporais do GII como um meio para analisar a capacidade de um SNI. Mostrou-se também que, não raro, as variáveis do GII possuem anomalias que dificultam e comprometem a precisão das análises de tendências, de identificação de gargalos e da avaliação da capacidade dos SNI (ERCIŞ; ÜNALAN, 2016; FAGERBERG; SRHOLEC, 2008; KHEDHAOURIA; THURIK, 2017; MILENKOVIC et al., 2019; WANG; ZHAO, X.; ZHANG, 2016).

A análise dos dados do estudo de caso permitiu verificar que os principais fatores geradores de anomalias em uma série temporal de indicadores do GII são mudanças metodológicas, falta de dados e dados com valores atípicos, esses últimos considerados inconsistências. O método foi construído para detectar esses fatores ao identificar mudanças abruptas nas VB do GII sem requerer a necessidade de se estabelecer uma medida subjetiva de algum parâmetro para codificar o conceito de “mudanças abruptas”. A partir da definição de Variação Percentual Anual (VPA), mostrou-se que o método alcançou resultados satisfatórios, conseguindo separar as VB com dados contendo pequenos valores de VPA daqueles com elevados valores de VPA.

Verificou-se, empiricamente, que algumas mudanças metodológicas não foram detectadas pelo método, particularmente quando elas não provocaram variações significativas nas variáveis de base, por outro lado, todas as mudanças que afetaram sensivelmente os valores das variáveis foram detectados pelo método proposto. Dessa forma, sob a perspectiva do incrementalismo, em ambos os casos o teste de hipótese funcionou corretamente.

De forma análoga, as análises aqui realizadas mostraram claramente que as detecções de anomalias na ausência de mudanças metodológicas se manifestaram em situações de falta de dados e dados com valores bem distintos dos demais da série temporal. Isso é uma evidência objetiva da pertinência da premissa do incrementalismo no contexto do SNI; da eficiência do método proposto, como mecanismo útil para implementar na prática tal premissa; e da coerência das aproximações que foram adotadas em sua dedução.

Como teste de hipótese, o procedimento proposto apresentou resultados satisfatórios, visto que não foram identificados erros críticos do Tipo I, quando a hipótese nula é verdadeira e o teste indica como sendo falsa (no caso concreto “não há evidência de dados anômalos” e o teste indica a presença de anomalias) e do Tipo II, que ocorre na situação contrária, ou seja quando o teste aceita a hipótese nula sendo que ocorreu de fato a hipótese alternativa (no caso concreto o teste afirma que não há presença de anomalias quando de fato elas existem).

Dessa forma, no contexto do GII, anomalias podem ser consideradas como mudanças abruptas no comportamento de indicadores de inovação em um determinado período temporal que podem ser geradas por diversos fatores, como falta de dados, mudanças metodológicas ou erros de medição. Essas mudanças abruptas são identificadas pela estimação do nível de significância, α . A metodologia descrita neste estudo foi testada para três valores deste parâmetro que controla a sensibilidade do teste de hipótese na detecção de mudanças abruptas ($\alpha = 1\%$, 5% ou 10%). No entanto, cabe ao analista a escolha dos valores de α mais apropriados de acordo com o fenômeno analisado.

Portanto, ao sugerir que indicadores de inovação não evoluem bruscamente em um contexto nacional, o método proposto coloca em evidência o conceito de anomalia muitas vezes referenciados por outliers em relatórios do GII. A definição proposta neste artigo difere do termo outlier utilizado nestes relatórios (SAISANA; DOMÍNGUEZ-TORREIRO; VÉRTESY 2018), visto que muitas mudanças significativas nos valores das variáveis de base decorrem de mudanças metodológicas e não podem ser interpretadas como resultados estranhos.

8 Conclusão

Os resultados aqui apresentados para o caso de estudo considerado mostram a importância de se identificar e classificar as anomalias do GII, pois elas podem ser significativas, ocorrer com frequência e induzir ao erro especialistas que analisam esses indicadores, comprometendo a precisão das conclusões sobre o SNI.

Mostrou-se que apesar de valiosa, a mera análise dos relatórios, além de laboriosa, não é capaz de resolver adequadamente essa problemática, pois os efeitos e intensidade das mudanças metodológicas sobre as variáveis de base são bastante diversificados. Além disso, algumas inconsistências importantes não podem ser identificadas com tal procedimento.

Essas características, ressaltam o valor de se desenvolver procedimentos capazes de identificar as anomalias, distingui-las e classificá-las, pois suas causas e efeitos são distintos e precisam ser considerados adequadamente nos estudos de tendências e da capacidade dos SNI.

Por questões práticas, o presente estudo limitou-se a analisar os produtos de inovação do Brasil no período de 2013 a 2019, colocando o tema em evidência e contribuindo, particularmente, para estudos sobre análises evolutivas de indicadores de inovação que não se abstém do rigoroso trabalho de detecção e tratamento de anomalias.

Estudos futuros podem consolidar a técnica aqui proposta, mediante a sua utilização com outros indicadores do GII, países e faixas temporais. A influência do valor do nível de significância nas probabilidades de perda e de falhas de detecção pode ser estudada em maior profundidade e outras técnicas de detecção de anomalias podem ser implementadas e comparadas com o procedimento aqui proposto.

Autoria e Colaborações

Todos os autores participaram de modo equivalente na elaboração do artigo.

Referências

- AFUAH, A. N.; BAHRAM, N. The hypercube of innovation. **Research Policy**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 51-76, 1995. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004873339300749J>. Acesso em: 13 jul. 2015.
- AINSWORTH, S. H.; HALL, T. E. **Abortion politics in Congress: strategic incrementalism and policy change**. [Cambridge]: Cambridge University Press, 2011.
- AVELLAR, A. P.; BRITO, J. Capacitação inovativa, investimento e produtividade na indústria brasileira: evidências da diversidade intersetorial. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 301-343, dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8642287>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- BLÁZQUEZ-GARCÍA, A. et al. A review on Outlier/anomaly detection in time series data. **ACM Computing Surveys**, [s. l.], v. 54, n. 3, p. 1-33, June 2021.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Relatório de Auditoria 017.220/2018-1**. Auditoria realizada para identificar atores, políticas, iniciativas e arranjos institucionais relativos ao tema “Inovação”, bem como os fatores que podem estar contribuindo para o persistente baixo posicionamento do Brasil nos rankings de inovação. Recorrente: Secretaria de Controle Externo do Desenvolvimento Econômico. Relatora: Ana Arraes, 29 de maio de 2019. Disponível em: https://pesquisa.apps.tcu.gov.br/#/documento/acordao-completo/1722020181.PROC/DTRELEVANCIA_desc,NUMACORDAOINT_desc/0/?uuid=966eb5e0-9859-11e9-95b8-2537453d60df. Acesso em: 18 nov. 2019.
- BRAYBROOKE, D.; LINDBLOM, C. E. **A strategy of decision: policy evaluation as a social process**. [New York]: Free Press, 1970.
- BUDA, T. S.; CAGLAYAN, B.; ASSEM, H. DeepAD: a generic framework based on deep learning for time series anomaly detection. In: PHUNG, D. et al. (ed.). **Advances in knowledge discovery and data mining**. [S. l.]: Springer, 2018. p. 577-588. (Lecture Notes in Computer Science, v. 10937 LNAI).
- CARDOSO JÚNIOR, J. C.; CASTRO, J. A. Economia política das finanças sociais brasileiras no período 1995-2002. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 145-174, jna. 2016. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8642924>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- CHANDOLA, V.; BANERJEE, A.; KUMAR, V. Anomaly detection: a survey. **ACM Computing Surveys**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1-22, July 2009. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/1541880.1541882>. Acesso em: 18 out. 2021.

CRESPO, N. F.; CRESPO, C. F. Global innovation index: Moving beyond the absolute value of ranking with a fuzzy-set analysis. **Journal of Business Research**, [s. l.], v. 69, n. 11, p. 5265-5271, Nov 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.04.123>. Acesso em: 23 nov. 2021.

DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research Policy**, [s. l.], v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

DUTTA, S. et al. Global innovation index 2018: energizing the world with innovation. In: DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (ed.). **Global innovation index 2018: energizing the world with innovation**. 11th ed. [Geneva]: Cornell University; INSEAD; WIPO, 2018. p. 3-54. Disponível em: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (ed.). **The global innovation index 2017: innovation feeding the world**. 10th ed. [Geneva]: Cornell University; INSEAD; WIPO, 2017. Disponível em: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2017.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

ERCIŞ, A.; ÜNALAN, M. Innovation: a comparative case study of Turkey and South Korea. **Procedia: Social and Behavioral Sciences**, [s. l.], v. 235, p. 701-708, Nov 2016.

FAGERBERG, J.; MOWERY, D. C.; VERSPAGEN, B. The evolution of Norway's national innovation system. **Science and Public Policy**, [Oxford], v. 36, n. 6, p. 431-444, July 2009. Disponível em: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/19330/1/MPRA_paper_19330.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

FAGERBERG, J.; SRHOLEC, M. National innovation systems, capabilities and economic development. **Research Policy**, [s. l.], v. 37, n. 9, p. 1417-1435, Oct 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733308001431>. Acesso em: 29 abr. 2019.

FAMALIKA, A.; SIHOMBING, P. R. Implementation of K-Means and K-Medians Clustering in Several Countries Based on Global Innovation Index (GII) 2018. **Advance Sustainable Science, Engineering and Technology**, [Semarang], v. 3, n. 1, p. 0210107, 30 Apr 2021. Disponível em: <http://journal.upgris.ac.id/index.php/asset/article/view/8461>. Acesso em: 13 out. 2021.

FIGUEIREDO, P. N. Aprendizagem tecnológica e inovação industrial em economias emergentes: uma breve contribuição para o desenho e implementação de estudos empíricos e estratégias no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 323, jul./dez. 2004. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8648901>. Acesso em: 23 nov. 2021.

FRANCO, C.; OLIVEIRA, R. H. de. Inputs and outputs of innovation: analysis of the BRICS. **INMR - Innovation & Management Review**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 79-89, 2017. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rai/article/view/112678>. Acesso em: 23 nov. 2021.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **The economics of industrial innovation**. [Cambridge]: MIT Press, 1997.

GALDINO, J. F. Análise de desempenho dos insumos de inovação do Sistema Nacional de Inovação do Brasil. *Exacta*, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 75-93, 24 Maio 2019a. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/8125>. Acesso em: 23 nov. 2021a.

GALDINO, J. F. Reflexos da Era do Conhecimento e da 4ª Revolução Industrial na Defesa. *Artigos Estratégicos*, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 7-27, jan./jun. 2019b. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/CEEEArE/article/view/2492>. Acesso em: 23 nov. 2021b.

GALDINO, J. F. Sistema Nacional de Inovação do Brasil: uma análise baseada no índice global de inovação. *Coleção Meira Mattos: revista das ciências militares*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 45, p. 129-144, set./dez. 2018. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/RMM/article/view/1391/1526>. Acesso em: 30 dez. 2018.

GOMES, E. G. M. As agências reguladoras independentes e o tribunal de contas da união: conflito de jurisdições? *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro, v. 40, n. 4, p. 615-630, ago 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122006000400006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 21 nov. 2019.

GROENEWEGEN, J.; STEEN, M. V. der. The evolution of national innovation systems. *Journal of Economic Issues*, [London], v. 40, p. 277-285, June 2006.

GUPTA, M. et al. **Outlier detection for temporal data**. San Rafael, California: Morgan & Claypool, 2014. (Synthesis Lectures on Data Mining and Knowledge Discovery).

HAWKINS, D. M. **Identification of outliers**. [London]: Chapman & Hall, 1980.

HOBDA, M. **Innovation in East Asia: the challenge to Japan**. [S. l.]: Edward Elgar, 1997.

JANGER, J. et al. The EU 2020 innovation indicator: A step forward in measuring innovation outputs and outcomes? *Research Policy*, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 30-42, Feb 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733316301597>. Acesso em: 25 jul. 2019.

JANKOWSKA, B.; MATYSEK-JĘDRYCH, A.; MROCZEK-DĄBROWSKA, K.. Efficiency of national innovation systems - Poland and Bulgaria in the context of the global innovation index. *Comparative Economic Research: Central and Eastern Europe*, v. 20, n. 3, p. 77-94, Sep 2017.

KHEDHAOURIA, A.; THURIK, R. Configurational conditions of national innovation capability: a fuzzy set analysis approach. *Technological Forecasting and Social Change*, [s. l.], v. 120, p. 48-58, July 2017.

KIM, L. **Da imitação à inovação: a dinâmica do aprendizado tecnológico da Coreia**. Campinas: UNICAMP, 2005.

KONDO, E. K. Desarrollo de indicadores estratégicos en ciencia y tecnología: principales problemas. **ACIMED**, Ciudad de La Habana, v. 9, p. 29-34, 2001. Supl. 4. Disponível em: <http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v9s4/aci05100.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2019.

KOSE, C.; TOPÇU, U. C. Innovation measurement revisited comparison of three main measures. In: **INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ON ECONOMIC AND SOCIAL DEVELOPMENT**, 18., 2016, Zagreb, Croatia. **Book of proceedings**. Zagreb: Varazdin Development and Entrepreneurship Agency; University North; Faculty of Management University of Warsaw, 2016. p. 245-253. Disponível em: https://www.academia.edu/31163303/Innovation_Measurement_Revisited_Comparison_Of_Three_Main_Measures. Acesso em: 29 abr. 2019.

LINDBLOM, C. E. The Science of “Muddling Through”. **Public Administration Review**, [Hoboken], v. 19, n. 2, p. 79-88, 1959. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/973677?origin=crossref>. Acesso em: 25 jul. 2019.

LUNDVALL, B-Å. Innovation system research and policy where it came from and where it might go. [S.l.:s.n.], 2007. Paper to be presented at CAS Seminar, Oslo, December 4, 2007. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.502.1643&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

LUNDVALL, B-Å. (ed.). **National systems of innovation: toward a theory of innovation and interactive learning**. [London]: Anthem Press, 2010. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/j.ctt1gxp7cs>. Acesso em: 26 jul. 2019.

MAINE, E.; THOMAS, V. J.; UTTERBACK, J. Radical innovation from the confluence of technologies: innovation management strategies for the emerging nanobiotechnology industry. **Journal of Engineering and Technology Management - JET-M**, [s.l.], v. 32, p. 1-25, Apr/June 2014.

MAZZUCATO, Mariana. **O Estado empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. o setor privado**. São Paulo: Portifolio-Penguin, 2014.

MICALE, L. M. **Policy change as innovation and incrementalism: the case of Plan 6 cost-sharing**. Tucson: The University of Arizona, 1990.

MILENKOVIC, N. et al. The correlation and interaction of the sustainability and global innovation in transition countries. **Applied Ecology and Environmental Research**, Budapest, v. 17, n. 2, p. 1499-1516, 2019. Disponível em: http://epa.oszk.hu/02500/02583/00058/pdf/EPA02583_applied_ecology_2019_02_14991516.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

NELSON, R. R.; WINTER, S. G. **An evolutionary theory of economic change**. [Cambridge, MA; London]: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NIOSI, J. et al. National systems of innovation: in search of a workable concept. **Technology in Society**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 207-227, 1993. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0160791X93900037>. Acesso em: 23 nov. 2021.

PORTO, G. S.; MEMÓRIA, C. V. Incentivos para inovação tecnológica: um estudo da política pública de renúncia fiscal no Brasil. **Revista de Administração Pública**, São Paulo, v. 53, n. 3, p. 520-541, maio/jun. 2019. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122019000300520&tlng=pt. Acesso em: 21 nov. 2019.

RAGIN, C. C. **What is Qualitative Comparative Analysis (QCA)?**. Oxford: Oxford University, 2008. Economic and Social Research Council's Research Methods Festival, Saint Catherine's College, Oxford University. Disponível em: http://eprints.ncrm.ac.uk/250/1/What_is_QCA.pdf. Acesso em: 23 nov. 2021.

REFAAT, E.; HADI, A. Constructing composite indices. **International Journal of Sociology and Social Policy**, Bingley, UK, v. 38, n. 1-2, p. 58-86, 2018. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/IJSSP-12-2016-0135>. Acesso em: 1 ago. 2019.

RIEGE, A. M. Validity and reliability tests in case study research: a literature review with “hands-on” applications for each research phase. **Qualitative Market Research: an International Journal**, Bingley, UK, v. 6, n. 2, p. 75-86, 2003. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/10.1108/13522750310470055>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SAISANA, M.; DOMÍNGUEZ-TORREIRO, M.; VÉRTESY, D. Annex 3: Joint research centre statistical audit of the 2018 global innovation index. In: DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. (ed.). **Global innovation index 2018: energizing the world with innovation**. 11th ed. [Geneva]: Cornell University; INSEAD; WIPO, 2018. p. 71-87. Disponível em: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_gii_2018.pdf. Acesso em: 24 nov. 2021.

SANTOS, E. C. do C. Papel do Estado para o desenvolvimento do SNI: lições das economias avançadas e de industrialização recente. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 23, n. 2 (51), p. 433-464, ago. 2014. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8642149/9641>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SCHUMPETER, J. A.. **The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle**. Translated by Redvers Opie. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1961.

SCHONS, D. L.; PRADO FILHO, H. V.; GALDINO, J. F. Política Nacional de Inovação: uma questão de crescimento econômico, desenvolvimento e soberania nacional. **Coleção Meira Mattos: revista das ciências militares**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 49, p. 27-50, jan./abr. 2020. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/RMM/article/view/3063/2679>. Acesso em: 23 nov. 2021.

SCHONS, D. L.; PRADO FILHO, H. V.; GALDINO, J. F. **Estudo comparado de sistemas setoriais de inovação: petróleo e gás, agronegócio e Exército**. In: ESTUDOS de defesa: inovação, estratégia e desenvolvimento industrial. Rio de Janeiro: Ed. FGV, 2021 (no prelo). p. 190-218.

SOGNER, K. Slow Growth and revolutionary change: the norwegian IT Industry enters the global age, 1970-2005. In: FAGERBERG, J.; MOWERY, D.; VERSPAGEN, B. **Innovation, path dependency, and policy: the Norwegian case**. Oxford: Oxford University Press, 2009. p. 264-294. Disponível em: <http://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780199551552.001.0001/acprof-9780199551552-chapter-10>. Acesso em: 8 jul. 2019.

TEIXEIRA, A. M.; MISSIO, F. J. O “novo” consenso macroeconômico e alguns insights da crítica heterodoxa. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 723-297, ago. 2011 Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8642349>. Acesso em: 30 mar. 2020.

TROTT, P. **Innovation management and new product development**. [Harlow]: Financial Times/Prentice Hall, 2008.

WANG, D; ZHAO, X.; ZHANG, Z. The time lags effects of innovation input on output in national innovation systems: the case of China. **Discrete Dynamics in Nature and Society**, London, v. 2016, p. 1-12, Sep 2016. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/ddns/2016/1963815/>. Acesso em: 23 nov. 2021.

WILDAVSKY, A. The political economy of efficiency: cost-benefit analysis, systems analysis, and program budgeting. **Public Administration Review**, [Hoboken], v. 26, n. 4, p. 292-310,, Dec 1966. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/973301?origin=crossref>. Acesso em: 25 jul. 2019.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. 2nd, rev. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1994.

ANEXO A - Valores Críticos da Variável Qui-quadrado para diferentes graus de liberdade e de $1-\alpha$.

GL	$1-\alpha$			
	0,9	0,95	0,975	0,99
1	2,71	3,84	5,02	6,64
2	4,61	5,99	7,38	9,21
3	6,25	7,81	9,35	11,3
4	7,78	9,49	11,1	13,3
5	9,24	11,1	12,8	15,1
6	10,6	12,6	14,4	16,8

ANEXO B - Lista dos pilares, subpilares, variáveis de base (VB) dos Produtos de Inovação. As VB são rotuladas pelo índice *i*, primeira coluna do Quadro.

Índice (<i>i</i>)	Código	Descrição
	6.	Knowledge and technology outputs
	6.1.	Knowledge creation
1	6.1.1.	National office resident patent applications
2	6.1.2.	Patent Cooperation Treaty resident applications
3	6.1.3.	National office resident utility model applications
4	6.1.4.	Scientific and technical publications
5	6.1.5.	Citable documents H index
	6.2.	Knowledge impact
6	6.2.1.	Growth rate of GDP per person engaged
7	6.2.2.	New business density
8	6.2.3.	Total computer software spending
9	6.2.4.	ISO 9001 quality certificates
10	6.2.5.	High-tech and medium-high-tech output
	6.3.	Knowledge diffusion
11	6.3.1.	Royalties and license fees receipts (% service exports)
12	6.3.2.	High-tech exports
13	6.3.3.	Communications, computer and information services exports, %
14	6.3.4.	Foreign direct investment net outflows
	7.	Creative outputs
	7.1.	Intangible assets

Índice (i)	Código	Descrição
15	7.1.1.	National office resident trademark registrations
16	7.1.2.	Madrid system trademark registrations by country of origin
17	7.1.3.	ICTs and business model creation
18	7.1.4.	ICTs and organizational models creation
	7.2.	Creative goods and services
19	7.2.1.	Audiovisual and related services exports
20	7.2.2.	National feature films produced
21	7.2.3.	Daily newspapers circulation
22	7.2.4.	Printing and publishing output
23	7.2.5.	Creative goods exports
	7.3.	Online creativity
24	7.3.1.	Generic top-level domains (gTLDs)
25	7.3.2.	Country-code top-level domains (ccTLDs)
26	7.3.3.	Wikipedia monthly edits
27	7.3.4.	Video uploads on YouTube

