



A Dinâmica da Inovação Regional: Um Estudo sobre Especialização e Complexidade Tecnológica nos Estados Brasileiros

Jadilson Batista de Oliveira Júnior¹;
Maria Aline Santos de Jesus²;
Ataído Da Conceição de Santana³;
Bruno Setton Gonçalves⁴;

Resumo: O presente artigo investiga a dinâmica da inovação regional no Brasil sob a ótica da especialização produtiva e da complexidade tecnológica. O objetivo central consiste em analisar os padrões de especialização, mensurados pelo Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR), e de sofisticação, aferidos pelo Índice de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE), verificando ainda a influência do financiamento público e da gestão governamental sobre esses indicadores. A metodologia adotada é quantitativa e explicativa, fundamentada na análise de dados de depósitos de patentes no INPI, extraídos via Orbit Intelligence (base FAMPAT), e de dispêndios estaduais em CT&I do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), compreendendo o período de 2012 a 2022 e utilizando a classificação tecnológica IPC-CE da OMPI. Os resultados confirmam a concentração da atividade inovativa nas regiões Sul e Sudeste e refutam a hipótese de que a complexidade induz especialização em poucas áreas, demonstrando, via regressão linear, que estados com menor complexidade (maior ICE) tendem a apresentar maior diversidade de especialização em tecnologias ubíquas. Por outro lado, a análise corrobora que o aumento do financiamento público estadual está significativamente associado ao aumento da diversidade e à redução do ICE, indicando maior sofisticação tecnológica. Conclui-se que a diversidade tecnológica isolada não garante complexidade, mas que o investimento público atua como vetor eficaz para promover a sofisticação dos sistemas regionais de inovação, sugerindo a necessidade de políticas focadas na qualidade e continuidade dos investimentos para superar a dependência de trajetória.

Palavras-chave: Sistemas Regionais de Inovação; Complexidade Tecnológica; Especialização Tecnológica; Patentes; Financiamento Público.

Código JEL: R11, O33, O38.

¹Universidade Federal de Sergipe. E-mail: jadilsonb.o.junior@gmail.com

² Universidade Federal de Sergipe. E-mail: aline.economista@hotmail.com.

³ Universidade Federal de Sergipe. E-mail: ataido.santana@gmail.com.

⁴ Universidade Federal de Alagoas. E-mail: bruno.setton@arapiraca.ufal.br.

Área Temática: 5. Inovação e mudanças técnica, organizacional e institucional (5.7 Indicadores de Ciência, Tecnologia, Inovação)

The Dynamics of Regional Innovation: A Study on Specialization and Technological Complexity in Brazilian States

Abstract: This article investigates the dynamics of regional innovation in Brazil from the perspective of productive specialization and technological complexity, addressing the structural heterogeneity that characterizes the innovative capacity of Brazilian states and its implications for territorial development. The main objective is to analyze specialization patterns, measured by the Revealed Technological Advantage Index (RTA), and sophistication, gauged by the State Technological Complexity Index (SCI), while also verifying the influence of public funding and government management on these indicators. The methodology adopted is quantitative and explanatory, based on the analysis of patent filing data at the INPI, extracted via Orbit Intelligence (FAMPAT database), and state expenditures on Science, Technology, and Innovation (STI) from the Ministry of Science, Technology, and Innovation (MCTI), covering the period from 2012 to 2022 and using the WIPO IPC-CE technological classification. The results confirm the concentration of innovative activity in the South and Southeast regions and refute the hypothesis that complexity induces specialization in a few areas, demonstrating, via linear regression, that states with lower complexity (higher SCI score) tend to present greater diversity of specialization in ubiquitous technologies. Conversely, the analysis corroborates that increased state public funding is significantly associated with increased diversity and reduced SCI, indicating greater technological sophistication. It is concluded that technological diversity alone does not guarantee complexity, but that public investment acts as an effective vector to promote the sophistication of regional innovation systems, suggesting the need for policies focused on the quality and continuity of investments to overcome path dependence.

Keywords: Regional Innovation Systems; Technological Complexity; Technological Specialization; Patents; Public Funding in STI.

1. Introdução

A inovação tecnológica consolidou-se como um motor fundamental para o desenvolvimento econômico e social, impulsionando investigações sobre os padrões de especialização e complexidade regional. No Brasil, mapear a capacidade inovativa dos estados é um passo essencial para o desenho de políticas públicas mais assertivas e para a promoção de um crescimento sustentável.

Para aprofundar essa compreensão, a literatura tem se apoiado cada vez mais na perspectiva dos Sistemas Regionais de Inovação (SRIs). Trabalhos recentes evidenciam que a proximidade geográfica entre agentes econômicos, instituições de pesquisa e o setor público é determinante para a difusão do conhecimento. Garcia et al. (2022), por exemplo, sistematizam a literatura da área e propõem uma agenda de pesquisa voltada para países em desenvolvimento. Em complemento, Santos et al. (2023) oferecem um modelo de identificação de SRIs no Brasil baseado na densidade geográfica de ecossistemas inovadores, demonstrando os impactos diretos dessa aglomeração na competitividade regional e no desempenho financeiro das empresas.

No entanto, tais investigações concentram-se majoritariamente na identificação dos SRIs e na análise de seus efeitos sobre indicadores empresariais, sem aprofundar as especificidades produtivas e tecnológicas que caracterizam os perfis inovativos dos estados brasileiros. Paranhos et al. (2018), por sua vez, exploram a configuração regional do setor farmacêutico com base nas abordagens de sistemas regionais e setoriais de inovação, revelando importantes assimetrias entre estados como São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais em comparação com os estados de Goiás e Pernambuco. Embora o estudo contribua para a compreensão das dinâmicas locais de inovação em um setor estratégico, sua delimitação setorial restringe a análise da diversidade tecnológica e dos padrões de especialização produtiva presentes em outras áreas da economia.

Neste contexto, o presente trabalho, ao analisar a especialização (VTR) e a complexidade (ICE) na estrutura dos SRIs, insere-se diretamente nessa linha de pesquisa brasileira que busca quantificar e explicar a heterogeneidade regional de inovação. Desta forma, justifica-se pela necessidade de ampliar o escopo das análises sobre inovação regional no Brasil, integrando as dimensões de complexidade tecnológica e especialização produtiva dos estados brasileiros. Ao caracterizar os perfis inovativos estaduais e discutir suas implicações para o desenvolvimento regional, a pesquisa propõe uma abordagem sistêmica e comparativa que complementa e aprofunda os estudos existentes. Trata-se, portanto, de uma contribuição original para o campo da economia da inovação, com potencial para subsidiar políticas públicas mais eficazes e territorialmente sensíveis.

Apesar dos avanços em indicadores quantitativos de inovação, como número de patentes e investimentos em pesquisa e desenvolvimento, observa-se uma significativa heterogeneidade entre os estados brasileiros. Essa disparidade não se limita à quantidade de produção tecnológica, mas pode também se manifestar em padrões distintos de especialização e em diferentes níveis de complexidade dos portfólios inovativos. Tal cenário levanta uma questão central: a heterogeneidade da capacidade inovativa entre os estados brasileiros, já comprovada em termos quantitativos, também se reflete em padrões distintos de especialização e em diferentes níveis de complexidade tecnológica, que podem reforçar as trajetórias de dependência (path dependence) e a persistência das desigualdades regionais?

Este artigo analisará os padrões de especialização e complexidade tecnológica dos estados brasileiros, caracterizando seus perfis inovativos e discutindo as implicações para o desenvolvimento regional. Para tanto, será mapeada a produção tecnológica estadual com base nos depósitos de patentes junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), classificando-os por área tecnológica. A partir desses dados, será construído o Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR), que permite identificar as áreas de especialização de cada estado, e o Índice de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE), que possibilita comparar qualitativamente o grau de sofisticação dos portfólios de inovação.

Além disso, a pesquisa buscará verificar, por meio de análises estatísticas como regressão e comparação de médias (ANOVA), se o ICE e/ou o VTR apresentam correlações significativas com diferentes gestões governamentais ou níveis de financiamento à inovação. Com isso, pretende-se

contribuir para o entendimento das dinâmicas tecnológicas regionais e oferecer subsídios para o aprimoramento das políticas de inovação no país.

Por fim, os resultados serão discutidos à luz das políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação, com vistas a averiguar as seguintes hipóteses:

- Estados com maior complexidade tecnológica tendem a se especializar em diferentes áreas, enquanto os menos desenvolvidos convergem para poucas tecnologias;
- Estados que aumentam o financiamento público em CT&I, especialmente após mudanças de gestão, tendem a apresentar maior complexidade tecnológica e mais diversidade nas áreas de especialização;

A fim de alcançar os objetivos propostos, este artigo está estruturado da seguinte forma: além desta introdução, a próxima seção apresenta o referencial teórico, abordando os conceitos de Sistemas Regionais de Inovação, complexidade tecnológica e especialização produtiva. Em seguida, a seção de metodologia detalha os procedimentos adotados para coleta e análise dos dados, incluindo a construção dos índices VTR e ICE e as técnicas estatísticas utilizadas. A terceira seção é dedicada à análise e discussão dos resultados, com foco na caracterização dos perfis inovativos estaduais e na verificação das hipóteses formuladas. Por fim, as considerações finais sintetizam os principais achados da pesquisa, destacam suas contribuições para o campo da economia da inovação e apontam caminhos para futuras investigações e formulações de políticas públicas.

2. Referencial Teórico

A análise da inovação regional no Brasil exige considerar os sistemas regionais de inovação (SRIs) e seus condicionantes institucionais e políticos. A literatura sobre complexidade tecnológica destaca indicadores como o ICE e o VTR, que permitem avaliar não somente a diversidade de especialização, mas também a raridade e a interconexão das competências inovativas. Paralelamente, estudos sobre financiamento público em CT&I ressaltam o papel decisivo do investimento estatal, sobretudo em nível estadual, para fortalecer a capacidade de absorção dos SRIs e mitigar desigualdades regionais marcadas pelo *path dependence*. A qualidade institucional e a estabilidade das políticas são apontadas como fatores-chave para a efetividade das estratégias de inovação, compondo o arcabouço teórico que sustenta este estudo.

2.1. Sistemas Regionais de Inovação E Desenvolvimento Territorial

A inovação é amplamente reconhecida como um vetor fundamental para o desenvolvimento econômico e social contemporâneo. Desde a consolidação das teorias de Sistemas Nacionais de Inovação (FREEMAN, 1987; LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993), tem-se enfatizado que a capacidade de um país ou região em inovar depende não somente de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), mas também das interações institucionais e organizacionais entre empresas, universidades, governo e demais atores.

Os Sistemas Regionais de Inovação (SRI) surgem dessa perspectiva como um desdobramento teórico que reconhece a importância das dinâmicas territoriais no processo inovativo (ASHEIM, ISAKSEN, 2002). Segundo Cooke (2001), um SRI é composto por um conjunto de instituições públicas e privadas localizadas em uma mesma região, cuja interação sistemática e aprendizagem coletiva favorecem a geração, difusão e aplicação do conhecimento. Essa abordagem valoriza a proximidade geográfica e as relações de confiança como fatores que reduzem custos de transação e estimulam a cooperação inovativa.

Por sua vez, Serra et al. (2020) classificam os SRI brasileiros em três tipos: adensado, especializado e rarefeito. O SRI adensado apresenta alta densidade tecnológica e institucional; o especializado se concentra em poucos setores de inovação; e o rarefeito possui estrutura institucional frágil e baixa interação entre os agentes. Os autores afirmam que os sistemas regionais mais dinâmicos são aqueles capazes de combinar STI e DUI, integrando conhecimento científico, técnico e prático, ampliando possibilidades de diversificação e de desenvolvimento de novas trajetórias tecnológicas. Essa tipologia reflete o argumento de Tödtling e Trippl (2005), de que políticas de inovação devem considerar as especificidades regionais, em vez de adotar soluções uniformes. Quando consideramos o

cenário de países em desenvolvimento, fica evidente a necessidade de se pensar em modelos endógenos, que atendam às especificações de cada região.

No contexto brasileiro, os estudos sobre SRI destacam a coexistência de fortes desigualdades regionais na capacidade inovativa. Garcia, Araújo e Rapini (2022) demonstram que os sistemas de inovação no Brasil são marcadamente concentrados em poucos estados, especialmente nas regiões Sudeste e Sul do país, que possuem densas redes de universidades, institutos de pesquisa e empresas tecnológicas. Essa concentração reflete a trajetória histórica de industrialização e o acúmulo de infraestrutura científica e tecnológica nessas regiões (RESENDE; FIGUEIREDO, 2005; BERNARDES; ALBUQUERQUE, 2003).

Por outro lado, Silva e Santana (2024) ressaltam que a existência de uma base científica local ativa é determinante para o desempenho regional, pois universidades e redes de pesquisa funcionam como polo estruturante de projetos inovativos, desde que articuladas por mecanismos de governança territorial. Pereira et al. (2018) destacam que os SRI podem ser analisados em seis dimensões institucionais: científica, tecnológica, intermediação, capacitação, financiamento e governança, que definem a capacidade coletiva de gerar inovação.

Complementarmente, Santos, Almeida e Gonçalves (2023) ressaltam que os ecossistemas de inovação no Brasil são fortemente dependentes da atuação das políticas públicas estaduais e federais, que variam em intensidade e orientação conforme o contexto político. Em estados menos desenvolvidos, a ausência de mecanismos robustos de financiamento e de políticas de inovação dificulta a formação de redes locais de conhecimento, resultando em sistemas frágeis e de baixa complexidade tecnológica.

Portanto, compreender as diferenças regionais na produção tecnológica requer integrar dimensões quantitativas e qualitativas do processo inovativo, considerando não somente o volume de patentes, mas também a estrutura de especialização e a sofisticação tecnológica associada a cada território. É nessa perspectiva que se inserem os indicadores de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR) e Complexidade Tecnológica Estadual (ICE), abordados a seguir.

2.2. Especialização Tecnológica E O Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR)

O conceito de Vantagem Comparativa Revelada (VCR), proposto por Balassa (1965), tem sido amplamente utilizado na literatura para identificar as áreas de especialização produtiva e comercial de países e regiões. Adaptado ao campo da inovação, esse indicador originou o Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR), que mensura a intensidade relativa de uma região em determinadas áreas tecnológicas com base em seus depósitos de patentes (HIDALGO et al., 2007; MONTENEGRO; DINIZ; SIMÕES, 2015).

De acordo com Soete e Patel (1985), a análise da especialização tecnológica permite identificar “campos de competência” nos quais uma região demonstra vantagens relativas, refletindo sua trajetória industrial e suas capacidades acumuladas. Quando aplicado ao contexto subnacional, como nos estados brasileiros, o VTR revela os padrões espaciais de especialização tecnológica, evidenciando em quais áreas do conhecimento cada estado apresenta desempenho acima da média nacional.

Pesquisas empíricas brasileiras reforçam essa relação entre estrutura produtiva e especialização tecnológica. Bernardes e Albuquerque (2003) demonstram que estados com maior densidade industrial e científica, como São Paulo e Rio Grande do Sul, apresentam portfólios tecnológicos mais diversificados e com presença significativa de áreas de alta tecnologia. Em contrapartida, estados das regiões Norte e Nordeste tendem a concentrar sua produção de patentes em setores tradicionais ou de menor intensidade tecnológica (CRUZ et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015).

O VTR, portanto, constitui um indicador essencial para compreender as vantagens tecnológicas relativas às regiões e suas dinâmicas de especialização. Contudo, a análise isolada da especialização pode mascarar diferenças qualitativas na sofisticação das tecnologias dominadas, motivo pelo qual se torna necessário articular esse indicador à noção de complexidade tecnológica.

2.3. Complexidade Tecnológica E O Índice de Complexidade Estadual (ICE)

A complexidade tecnológica expressa o grau de sofisticação, interdependência e raridade das competências necessárias à produção de determinadas tecnologias. O conceito deriva da teoria da

complexidade econômica desenvolvida por Hidalgo e Hausmann (2009), segundo a qual economias (ou regiões) complexas são aquelas capazes de combinar um amplo conjunto de capacidades produtivas para gerar tecnologias diversificadas e de baixa ubiquidade.

Em termos empíricos, o cálculo da complexidade parte da construção de uma matriz binária de especialização, em que se considera que uma região é especializada em uma tecnologia quando o VTR > 1. A partir dessa matriz, obtêm-se duas dimensões centrais: diversidade (número de tecnologias dominadas por uma região) e ubiquidade (número de regiões que dominam uma mesma tecnologia). Regiões com alta diversidade e baixa ubiquidade tendem a apresentar maior complexidade, refletindo maior capacidade de aprendizado e inovação (MEALY; FARMER; TEYTELBOYM, 2019).

Estudos recentes, como Balland et al. (2020), demonstram que regiões mais complexas apresentam também maiores taxas de crescimento econômico de longo prazo, pois sua base tecnológica diversificada lhes permite transitar entre setores e inovar de forma contínua. No Brasil, a aplicação da metodologia de complexidade tecnológica revela uma forte concentração das tecnologias mais complexas em poucos estados, com destaque para São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (MONTENEGRO; DINIZ; SIMÕES, 2015).

Assim, o Índice de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE), inspirado na estrutura analítica de Hidalgo e Hausmann (2009), permite mensurar o nível de sofisticação dos portfólios tecnológicos dos estados brasileiros, servindo como indicador complementar à especialização. Essa abordagem possibilita compreender se a heterogeneidade regional observada no número de patentes também se manifesta qualitativamente, em termos de diversidade e raridade tecnológica.

2.4. A Classificação Tecnológica da OMPI (IPC-CE)

Para garantir a comparabilidade e a relevância da análise, este estudo adota a classificação tecnológica apresentada por Schmoch (2008) para a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), conhecida como IPC-CE. Esta classificação agrupa os códigos da Classificação Internacional de Patentes (IPC) em 35 campos tecnológicos, permitindo uma análise mais agregada e balanceada da atividade inovativa.

A classificação IPC-CE foi concebida para superar as limitações das classificações de patentes tradicionais, sendo muitas vezes excessivamente detalhadas ou heterogêneas para análises estatísticas comparativas entre países ou regiões. Ao agrupar os códigos IPC em campos tecnológicos mais amplos e homogêneos, a classificação de Schmoch (2008) facilita a identificação de padrões de especialização e a construção de indicadores como o VTR e o ICE.

Os 35 campos tecnológicos abrangem desde áreas tradicionais, como "Engenharia Elétrica" e "Máquinas-Ferramenta", até tecnologias emergentes, como "Biotecnologia" e "Tecnologia da Informação". A utilização desta classificação neste estudo permite uma análise mais robusta e direta.

2.5. Integração Entre Sistemas Regionais De Inovação, Especialização E Complexidade

A literatura recente destaca que a estrutura regional de inovação é moldada pela interação entre especialização tecnológica e complexidade. Enquanto a especialização revela as áreas de domínio de uma região, a complexidade expressa a capacidade de combinar e diversificar essas competências (HIDALGO; HAUSMANN, 2009; BALLAND et al., 2020).

De acordo com Fagerberg, Srholec e Verspagen (2010), regiões altamente especializadas em poucos setores tendem a apresentar menor resiliência tecnológica, pois ficam vulneráveis a choques externos e à obsolescência de suas vantagens comparativas. Por outro lado, regiões com portfólios tecnológicos diversificados e complexos possuem maior potencial de aprendizado intersetorial e adaptação a novas oportunidades.

Nesse sentido, os Sistemas Regionais de Inovação mais desenvolvidos — caracterizados por densas redes de interação entre universidades, empresas e políticas públicas — tendem a favorecer tanto a diversificação tecnológica quanto o avanço da complexidade (ASHEIM; COENEN; VANG, 2007). A análise combinada dos índices VTR e ICE, portanto, oferece uma perspectiva integrada sobre o funcionamento dos SRIs no Brasil, permitindo identificar não somente onde há inovação, mas como ela se organiza e evolui no território.

3. Metodologia

A presente pesquisa adota uma abordagem quantitativa, visando analisar os padrões de especialização e complexidade tecnológica dos estados brasileiros, tendo como base a atividade inovativa mensurada por depósitos de patentes. Quanto à sua natureza, trata-se de uma pesquisa explicativa, por buscar compreender as relações entre variáveis, identificar padrões e testar hipóteses sobre os fatores que influenciam a diversidade e a sofisticação tecnológica regional (Gil, 2008; Lakatos & Marconi, 2010). Diferentemente das pesquisas descritivas, que se limitam à caracterização de fenômenos, ou das exploratórias, voltadas à familiarização com temas pouco estudados, a abordagem explicativa permite investigar causas, correlações e efeitos entre os índices construídos (VTR e ICE) e variáveis como gestão pública e financiamento em CT&I.

A utilização de técnicas estatísticas como regressão e análise de variância (ANOVA) reforça esse caráter explicativo, ao permitir verificar a significância das relações entre os indicadores e testar hipóteses previamente formuladas. Assim, a pesquisa se insere no campo da economia da inovação com foco analítico e comparativo, contribuindo para o aprofundamento das discussões sobre desigualdades regionais e dinâmicas tecnológicas no Brasil.

3.1. Base de Dados e Descrição das Variáveis

Os dados secundários para esta análise são provenientes da base de dados FAMPAT, acessada por meio da ferramenta Orbit Intelligence da Questel, obtendo somente patentes depositadas no INPI. O recorte temporal para a análise dinâmica abrange o período de 2012 a 2022, o que permite observar os efeitos de mudanças dos ciclos políticos e os efeitos do período pandêmico de 2020-2022. Logo, os registros de patente que compõem a base são aqueles aplicados entre o início do ano de 2012 e o final do ano de 2022. Além do período de aplicação do pedido, também foram filtradas somente as patentes que estavam com situação legal "em pedido" ou "deferido", sendo depositadas por depositantes residentes no Brasil.

Para cada registro de patente, foram extraídas as seguintes informações:

Quadro 1 - Descrição das variáveis utilizadas.

Variável	Referencial Teórico e Empírico	Fonte:
Ano do depósito	OLIVEIRA, L. G. et al. Informação de patentes: ferramenta indispensável para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. Química Nova, v. 28, Suplemento, p. S36-S40, 2005.	Orbit Intelligence
Endereço completo do(s) depositante(s):		
Código da Classificação Internacional de Patentes		
Situação legal do pedido		

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A pesquisa também utilizou tabelas disponibilizadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) sobre os recursos aplicados em CT&I pelas unidades federativas durante o período observado (2012-2022) para investigar a influência dos ciclos políticos e dos investimentos realizados sobre os indicadores VTR e ICE.

3.2. Tratamento e Limpeza de Dados

O tratamento dos dados envolveu um processo sistemático de limpeza e padronização, para atribuir corretamente o estado de origem a cada patente. Este processo foi parcialmente automatizado por um *script* em Python, que realizou a extração de estados a partir dos endereços dos depositantes, e

complementado por uma limpeza manual para casos ambíguos. As principais etapas do tratamento de dados, conforme implementado no *script*, são detalhadas a seguir.

O *script* inicia carregando duas planilhas, que contêm a base de patentes bruta, extraída do Orbit, incluindo a coluna de endereço, e uma planilha de mapeamento de municípios para suas respectivas Unidades Federativas (UFs), utilizada para auxiliar na identificação de estados. Uma função é aplicada para padronizar os endereços e nomes de municípios/estados, removendo acentos, convertendo o texto para maiúsculas, eliminando caracteres não alfabéticos e padronizando espaços, garantindo consistência nas buscas.

A etapa central do *script* é a função que tenta extrair a UF de cada endereço seguindo uma lógica hierárquica. Primeiramente, o *script* procura por siglas de estados (ex.: SP, RJ) e nomes completos de estados (ex.: SÃO PAULO, MINAS GERAIS) diretamente no endereço normalizado, utilizando padrões de expressões regulares pré-compilados. Uma lógica adicional é aplicada para desambiguar siglas que aparecem após um caractere de igualdade, priorizando essa identificação quando clara. Caso nenhuma UF seja encontrada diretamente ou se houver múltiplas UFs, o *script* tenta identificar a UF por meio do nome do município presente no endereço. Para municípios ambíguos, o *script* resolverá a ambiguidade buscando a presença de siglas ou nomes de estados próximos no endereço. Se a ambiguidade não puder ser resolvida automaticamente, a patente é marcada como 'AMB'. Se múltiplos estados forem identificados, o *script* aplica uma hierarquia de confiança, priorizando UFs encontradas via municípios (se presentes e consistentes com outras UFs encontradas) ou, na ausência de desambiguação clara, retornando a primeira UF encontrada.

Patentes para as quais o estado não pôde ser identificado são marcadas com 'XX', esses casos foram retirados da amostra. Casos onde a ambiguidade não foi resolvida automaticamente são marcados como 'AMB', esses casos foram posteriormente submetidos a uma limpeza manual, para garantir a máxima precisão na atribuição dos estados.

Para a análise da especialização e complexidade, os códigos IPC foram agrupados nos 35 campos tecnológicos da classificação IPC-CE de Schmoch (2008), conforme detalhado na seção de referencial teórico. Assim, constrói-se uma relação de quantidade de patentes por campo tecnológico, para cada unidade federativa em cada ano.

Sobre os dados de origem das tabelas do MCTI, a tabela utilizada foi “Dispêndios dos governos estaduais em ciência e tecnologia (C&T), segundo regiões e unidades da federação 2000-2023”. A partir dessa tabela, foram selecionadas somente as informações referentes ao período estudado neste artigo.

3.3. Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR)

Para a identificação das áreas de especialização tecnológica de cada estado, será empregado o Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR), uma adaptação do conceito de Vantagem Comparativa Revelada. Este índice quantifica a especialização de um estado em uma determinada área tecnológica em relação à participação nacional dessa área.

A fórmula para o cálculo do VTR é apresentada como:

$$VTR_{ij} = (\sum_i P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij}) / (P_{ij} / \sum_j P_{ij})$$

Nesta equação, P_{ij} representa o número de patentes do estado i na área tecnológica j . O numerador $\sum_i P_{ij} / \sum_i \sum_j P_{ij}$ denota a participação do estado i na área tecnológica j em relação ao total de patentes do estado i . O denominador $P_{ij} / \sum_j P_{ij}$, representa a participação da área tecnológica j no total de patentes nacionalmente.

Um valor de $VTR_{ij} > 1$ indica que o estado i possui uma especialização na área tecnológica j . Isso ocorre porque a participação do estado i nessa área tecnológica é superior à participação da mesma área no total da produção tecnológica nacional. Valores inferiores a 1 sugerem uma desvantagem tecnológica relativa ou falta de especialização.

3.4. Índice de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE)

Com base na metodologia de complexidade econômica (Hidalgo e Hausmann, 2009), o Índice

de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE) será utilizado para mensurar o grau de sofisticação da estrutura tecnológica de cada estado. Enquanto a metodologia de Hidalgo e Hausmann (2009) utiliza um método iterativo (Método das Reflexões) para derivar o índice, este trabalho adotará um proxy direto e de alta interpretabilidade para a complexidade: a média de ubiquidade do portfólio de especialização do estado. A premissa subjacente é que tecnologias mais complexas são aquelas dominadas por um número restrito de estados (baixa ubiquidade). Portanto, um estado que se especializa consistentemente em tecnologias de baixa ubiquidade possui um portfólio mais sofisticado.

O cálculo do ICE envolve as seguintes etapas: Inicialmente, será construída uma matriz de contingência M_{ij} , em que $M_{ij} = 1$ se o $VTR_{ij} > 1$, indicando que o estado i é especializado na área tecnológica j . Caso contrário, $M_{ij} = 0$. A partir desta matriz binária, serão calculados dois indicadores: diversidade ($k_i, 0$), que representa o número de áreas tecnológicas em que um estado i é especializado, e ubiquidade ($k_j, 0$), que indica o número de estados especializados em uma dada tecnologia j . Um estado com alta diversidade atua em múltiplas áreas tecnológicas, enquanto tecnologias com baixa ubiquidade são dominadas por poucos estados, sugerindo maior complexidade.

Em sequência, determinamos que o ICE de um estado i é a média da ubiquidade dos campos tecnológicos em que o estado é especializado ($VTR > 1$), ponderada pelo próprio valor da VTR.

$$ICE_i = \sum_j (VTR_{ij} * k_{j,0}) / \sum_j VTR_{ij}$$

Um ICE mais baixo indica que o estado é especializado em tecnologias que poucos outros estados dominam, sugerindo um portfólio tecnológico mais complexo e sofisticado.

4. Resultados e Discussões

A análise dos dados compreende o período de 2012 a 2022, permitindo observar a evolução da dinâmica inovativa estadual frente às oscilações econômicas e políticas do período.

4.1. Panorama da Produção Tecnológica e Desigualdade Regional

A distribuição espacial dos depósitos de patentes confirma a histórica concentração da atividade inovativa no Brasil. Ao analisar os dados absolutos de produção tecnológica, observa-se que a região Sudeste, liderada por São Paulo, mantém a hegemonia no volume de depósitos.

Esta concentração corrobora a tese da heterogeneidade estrutural dos Sistemas Regionais de Inovação (SRIs) brasileiros. Enquanto estados como São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) e Rio Grande do Sul (RS) apresentam sistemas "adensados", com alta produção absoluta, a maioria dos estados do Norte e Nordeste caracteriza-se por sistemas "rarefeitos" ou "em consolidação", em que a produção de patentes é intermitente e dependente de poucos atores institucionais. Como pode ser observado no Gráfico 1, em que somente São Paulo não aparece por seu contraste considerável em relação às demais UF's.

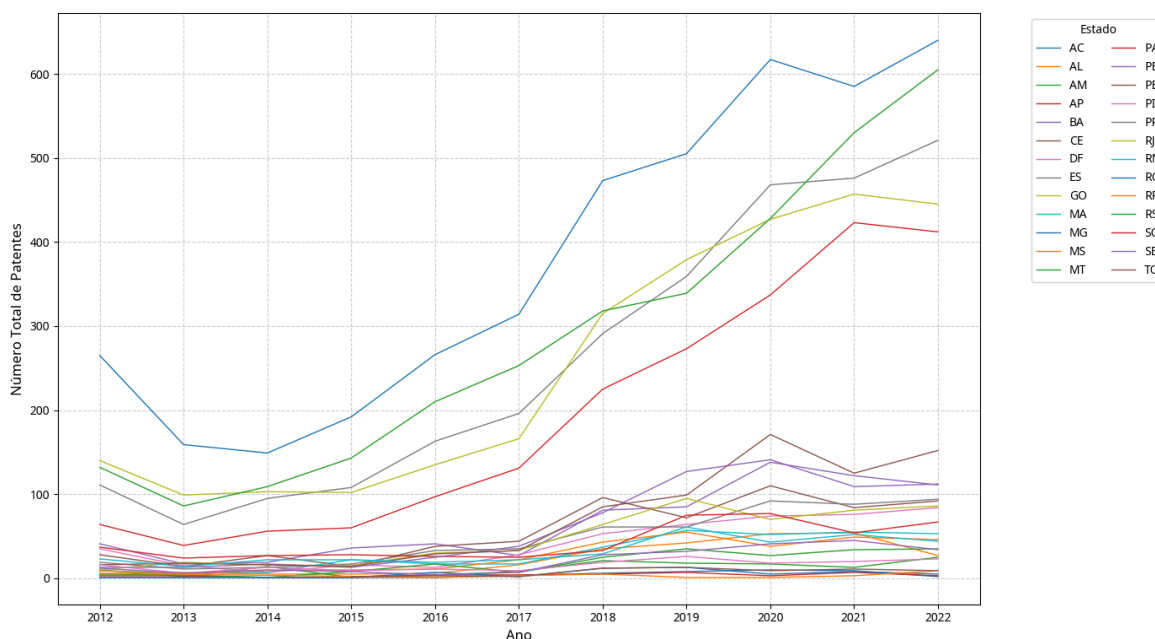


Gráfico 1: Evolução do Número Total de Patentes Depositadas - Todas as UFs, Exceto SP (2012-2022)

4.2. Especialização e Complexidade: Análise do VTR E ICE

A aplicação do Índice de Vantagem Tecnológica Revelada (VTR) e do Índice de Complexidade Tecnológica Estadual (ICE), calculado com base na matriz de 35 campos tecnológicos, revela nuances que o volume absoluto de patentes esconde. É importante notar que, para o ICE, quanto menor for o valor, maior é a complexidade tecnológica do estado.

A Hipótese 1 postula que "estados com maior complexidade tecnológica tendem a se especializar em diferentes áreas, enquanto os menos desenvolvidos convergem para poucas tecnologias". Em termos das métricas, isso implica que um menor ICE (maior complexidade) deve estar associado a uma maior diversidade. Portanto, espera-se uma correlação negativa entre ICE e Diversidade.

Para testar esta relação, foi realizada uma Regressão Linear Simples, modelando a Diversidade (número de áreas de especialização) em função do ICE. A expectativa teórica era de um coeficiente negativo e significativo, indicando que estados mais complexos (menor ICE) seriam mais diversificados.

Os resultados da regressão, apresentados na Tabela 1, refutam a hipótese original.

Tabela 1: Resultados da Regressão Linear Simples (Diversidade vs. ICE)

Variável Dependente: Diversidade	Coefficiente (β)	Erro Padrão	t	P-valor
Intercepto	6,5674	0,961	6.831	0.000
ICE	0,2808	0,107	2.619	0,009
R-quadrado	0,023			

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O coeficiente do ICE ($\beta = 0,2808$) é positivo e estatisticamente significativo ($p = 0,009$). Este achado sugere que, na verdade, estados com maior ICE (ou seja, menor complexidade tecnológica) estão associados a uma maior diversidade de especialização.

Este resultado contraintuitivo pode ser interpretado sob a perspectiva de que a diversidade, medida pelo simples número de áreas de especialização, não é o fator determinante da complexidade. Estados menos complexos podem estar dispersando seus esforços em uma gama maior de tecnologias (alta diversidade), mas em áreas de alta ubiquidade (baixa complexidade), enquanto estados mais complexos concentram-se em tecnologias raras e de baixa ubiquidade, o que se reflete em um ICE menor, mas não necessariamente em uma diversidade superior. A baixa capacidade explicativa do modelo ($R^2 = 0,023$) reforça que a relação entre ICE e Diversidade é fraca e influenciada por outros fatores não capturados pela simples correlação linear.

4.3. Financiamento Público e Ciclos Políticos: Teste da Segunda Hipótese

Esta seção testa a Hipótese 2, que postula que "estados que aumentam o financiamento público em CT&I, especialmente após mudanças de gestão, tendem a apresentar maior complexidade tecnológica e mais diversidade nas áreas de especialização". Em termos das métricas, isso implica que um aumento no financiamento (variação dispêndios) deve estar associado a uma queda no ICE (variação ICE negativa) e a um aumento na diversidade (variação diversidade positiva).

Para isolar o efeito do dispêndio estadual, foi utilizada a Regressão Linear Múltipla, controlando o efeito do tempo (ano). Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da Regressão Múltipla (Financiamento Estadual)

Variável Explicativa	Variável Dependente: ICE	Variável Dependente:
----------------------	--------------------------	----------------------

		Diversidade
	Coeficiente (p-valor)	Coeficiente (p-valor)
log_Dispos_Estadual	-0,1931 (0,007)	1.5012 (0.000)
Ano	0,4159 (0,000)	0.3106 (0.000)
R-quadrado	0,282	0,381

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os resultados suportam a Hipótese 2 no contexto do financiamento estadual:

- Impacto na Complexidade (ICE): O coeficiente do log_Dispos_Estadual é negativo e estatisticamente significativo ($\beta = -0,1931$, $p = 0,007$). Isso indica que o aumento do dispêndio estadual em CT&I está associado a uma redução no ICE, o que se traduz em um aumento na complexidade tecnológica do estado.
- Impacto na Diversidade: O coeficiente do log_Dispos_Estadual é positivo e altamente significativo ($\beta = 1.5012$, $p < 0.001$). Isso demonstra que o aumento do dispêndio estadual em CT&I está associado a um aumento na diversidade de especialização.

O financiamento estadual, portanto, parece ser um mecanismo eficaz para promover tanto a sofisticação (menor ICE) quanto a ampliação do escopo tecnológico (maior diversidade) dos Sistemas Regionais de Inovação.

5. Considerações Finais

O presente estudo se propôs a analisar os padrões de especialização e complexidade tecnológica dos estados brasileiros, caracterizando seus perfis inovativos e discutindo as implicações do financiamento público em CT&I e dos ciclos políticos sobre essa dinâmica. Para tanto, foram utilizados o VTR e o ICE, com base em dados de patentes do INPI no período de 2012 a 2022.

Os achados empíricos confirmam a persistente heterogeneidade estrutural dos SRIs no Brasil. A análise da evolução do número de patentes e do ICE demonstra a forte concentração da atividade inovativa em estados do Sudeste e Sul, com a maioria dos estados do Norte e Nordeste apresentando sistemas "rarefeitos" e baixa complexidade tecnológica. A dificuldade desses estados em realizar o catch-up tecnológico, mesmo em períodos de crescimento do dispêndio federal, sugere uma forte dependência de trajetória (path dependence) que reforça as desigualdades regionais.

Em relação às hipóteses formuladas, os resultados revelaram nuances importantes. Os resultados demonstram que a dinâmica da inovação regional no Brasil é complexa e multifacetada. A refutação da Hipótese 1 (ICE vs. Diversidade) sugere que a complexidade tecnológica é um fenômeno qualitativo, não meramente quantitativo. A diversidade de especialização, por si só, não garante a sofisticação tecnológica; é a raridade e a interconexão das competências (capturadas pelo ICE) que definem a complexidade.

Por outro lado, a confirmação da Hipótese 2 (Financiamento Estadual) aponta para a importância do investimento público. O financiamento estadual está associado à melhoria da complexidade e da diversidade. Este achado é crucial para a política de CT&I, pois sugere que o investimento público, quando bem direcionado e absorvido, cumpre seu papel de estimular a sofisticação tecnológica regional.

Uma limitação do estudo reside na análise de correlação, que não estabelece causalidade. Sugere-se que futuras pesquisas explorem modelos de regressão com defasagem temporal (lagged regression models) para verificar se o efeito do financiamento público sobre o ICE e a Diversidade se manifesta em períodos mais longos, o que seria mais coerente com o ciclo de maturação da inovação. Além disso, a inclusão de variáveis de qualidade institucional e governança nos modelos poderia aprofundar a compreensão sobre a capacidade de absorção dos recursos de CT&I pelos diferentes SRIs.

estaduais.

Além disso, o uso de dados diretos do INPI pode ajudar a ter acesso a uma base de dados de maior confiabilidade, o que não foi possível para o estudo atual, dada a dificuldade de acesso aos dados utilizados para análise nas bases do INPI.

Em suma, os resultados apontam para a urgência de políticas de inovação que priorizem a estabilidade, a previsibilidade e o foco na qualidade do investimento, em detrimento de aumentos pontuais e desarticulados de volume, como forma de mitigar a dependência de trajetória e promover um desenvolvimento tecnológico mais equitativo e complexo entre os estados brasileiros.

As principais limitações desta pesquisa referem-se à natureza correlacional da análise, que não permite estabelecer causalidade, ao horizonte temporal restrito (2012–2022), que pode não captar efeitos de longo prazo, e à dificuldade de acesso direto às bases do INPI, o que limitou a confiabilidade dos dados. Além disso, a ausência de variáveis institucionais e a heterogeneidade dos sistemas regionais de inovação dificultam a generalização dos resultados.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização de modelos de regressão com defasagem temporal, a inclusão de indicadores de governança e qualidade institucional, bem como o acesso ampliado às bases do INPI. Estudos comparativos internacionais e análises qualitativas em estados específicos podem enriquecer a compreensão dos mecanismos locais de inovação. A guisa de conclusão, sugere-se aprofundar a investigação sobre o impacto dos ciclos políticos na continuidade e eficácia das políticas de CT&I.

Referências bibliográficas

- ARAÚJO, V. C.; GARCIA, R. Determinants and spatial dependence of innovation in Brazilian regions: evidence from a Spatial Tobit Model. *Nova Economia*, v. 29, n. 2, p. 375-400, 2019.
- ASHEIM, B. T.; COENEN, L.; VANG, J. Face-to-face, buzz, and knowledge bases: Sociospatial implications for learning, innovation, and innovation policy. *Environment and Planning C*, v. 25, n. 5, p. 655-670, 2007.
- ASHEIM, B. T.; GERTLER, M. S. *The Geography of Innovation: Regional Innovation Systems*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- ASHEIM, B.; BOSCHMA, R.; COOKE, P. Constructing Regional Advantage. *Regional Studies*, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2010.543126>. Acesso em: 04 nov. 2025.
- BALASSA, B. Trade Liberalisation and “Revealed” Comparative Advantage. *The Manchester School of Economic and Social Studies*, v. 33, n. 2, p. 99-123, 1965.
- BALLAND, P. A. et al. Complex economic activities concentrate in large cities. *Nature Human Behaviour*, v. 4, p. 248-254, 2020.
- BERNARDES, A. T.; ALBUQUERQUE, E. M. Cross-over, thresholds and interactions between science and technology: lessons for less developed countries. *Research Policy*, v. 32, n. 5, p. 865-885, 2003.
- BERNARDI, B. B. O conceito de dependência da trajetória (path dependence): definições e controvérsias teóricas. *Perspectivas*, São Paulo, v. 41, p. 137-167, jan./jun. 2012.
- CARVALHO, C. M. B. Sobre a coevolução das estruturas comercial e tecnológica. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 17, n. 2, p. 309-334, 2018.
- CASALI, Giovana F. Rossi; SILVA, Orlando Monteiro da; CARVALHO, Fátima M. A. Sistema regional de inovação: estudo das regiões brasileiras. *Revista de Economia Contemporânea*, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 515-550, set./dez. 2010. Disponível em: <<https://www.econ.ufrj.br/revista/>> Acesso em: 02 nov. 2025.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. *Sistemas de Inovação e Desenvolvimento: As Implicações de Política*. Brasília: IPEA, 2019.
- COMISSÃO EUROPEIA. *Research and Innovation Strategies for Smart Specialisation (RIS3)*. Bruxelas, 2012.
- COOKE, P. Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, v. 10, n. 4, p. 945-974, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/10.4.945>. Acesso em: 02 nov. 2025.
- CRUZ, A. B.; CUNHA, S. K.; LIMA, J. P. S. Sistemas regionais de inovação e desenvolvimento local: uma análise empírica para o Brasil. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 19, n. 2, p. 269-293, 2015.
- FAGERBERG, J.; SRHOLEC, M.; VERSPAGEN, B. Innovation and economic development. In: HALL, B. H.; ROSENBERG, N. (Org.). *Handbook of the Economics of Innovation*. Amsterdam: Elsevier, 2010. p. 833-872.

- FREEMAN, C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Pinter, 1987.
- GARCIA, R.; ARAÚJO, V.; RAPINI, M. S. Sistemas regionais de inovação no Brasil: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 21, n. 1, p. 1–30, 2022.
- GARCIA, Renato de Castro et al. Revisitando os sistemas regionais de inovação: teoria, prática, políticas e agenda para o Brasil. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 32, n. 3, p. 617–645, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-6351/6932>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/>. Acesso em: 18 out. 2025.
- GONÇALVES, B. S.; SANTANA, J. R. Indicador estadual de ciência e tecnologia: uso da propriedade intelectual como uma proxy para inovação tecnológica. *Gestão & Regionalidade*, v. 37, n. 110, p. 177-195, 2021.
- HAUSMANN, R.; HIDALGO, C. A. *The Atlas of Economic Complexity*. Cambridge: MIT Press, 2014. Versão interativa disponível em: <https://atlas.cid.harvard.edu>. Acesso em: 01 nov. 2025.
- JANNUZZI, P. M. Indicadores para diagnóstico, monitoramento e avaliação de programas sociais no Brasil. *Revista do Serviço Público*, v. 56, n. 2, p. 137-160, 2005.
- LEMOS, M. B. *Inovação, Aprendizado e Desenvolvimento Regional no Brasil*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2018.
- LUNDVALL, B. A. (Ed.). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. Pinter Publishers, 1992.
- MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. *Relatório de Execução do FNDCT 2023*. Brasília, 2023.
- MEALY, P.; FARMER, J. D.; TEYTELBOYM, A. Interpreting economic complexity. *Science Advances*, v. 5, n. 1, p. eaau1705, 2019.
- MONTENEGRO, R. L.; DINIZ, C. C.; SIMÕES, R. F. Inovação, especialização e desenvolvimento regional no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 14, n. 1, p. 69–104, 2015.
- MOTA, M. D. M. *Dinâmica espacial da atividade tecnológica no Brasil*. 2022. Dissertação (Mestrado em Economia) — Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.
- NELSON, R. R. (Ed.). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- OLIVEIRA, L. G. et al. Informação de patentes: ferramenta indispensável para a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. *Química Nova*, v. 28, Suplemento, p. S36-S40, 2005.
- OLIVEIRA, M. A. S. et al. Inovação, território e desenvolvimento regional: uma análise a partir das patentes no Brasil. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 14, n. 2, p. 299–330, 2015.
- PARANHOS, Julia; FRANÇA, Caio; MERCADANTE, Eduardo. Sistemas regionais de inovação no setor farmacêutico brasileiro: estudo comparativo. *Cadernos do Desenvolvimento Fluminense [S. l.]*, v. 14, n. 1, p. 100–106, 1º sem. 2018. Disponível em: <https://www.ceped.uerj.br/cadernos-do-desenvolvimento-fluminense/>. Acesso em: 18 out. 2025.
- PEREIRA, Rafael Moraes; MARQUES, Humberto Rodrigues; GARCIA, Marcelo de Oliveira; GAVA,

Rodrigo. Sistemas regionais de inovação: dimensões e especificidades da estrutura científico-tecnológica do estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, Taubaté, v. 14, n. 1, p. 271-296, jan./abr. 2018. Disponível em: <<https://www.gestaodesenvolvimentoregional.org/>>. Acesso em: 02 nov. 2025.

RESENDE, M.; FIGUEIREDO, P. Sistemas regionais de inovação no Brasil: evidências empíricas e implicações de política. *Revista de Economia Contemporânea*, v. 9, n. 2, p. 355–382, 2005.

SANTOS, David Ferreira Lopes et al. O impacto dos sistemas regionais de inovação no desempenho financeiro das empresas no Brasil. *Interações*, Campo Grande, MS, v. 24, n. 3, p. 1021–1037, jul./set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v24i3.3620>. Disponível em: <https://www.interacoes.ucdb.br/>. Acesso em: 18 out. 2025.

SANTOS, E. L.; ALMEIDA, L. F.; GONÇALVES, F. Ecossistemas de inovação e proximidade geográfica no Brasil: uma análise exploratória. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 22, n. 1, p. 1–28, 2023.

SCHMOCH, U. Concept of a technology classification for country comparisons: final report to the World Intellectual Property Organisation (WIPO). Karlsruhe: Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, 2008. Disponível em: https://www.wipo.int/documents/2948119/3215563/wipo_ipc_technology.pdf. Acesso em: 9 nov. 2025.

SCHUMPETER, Joseph A. Schumpeter (economistas 13). *[S.l.]*: Romances Nova Cultural, 1970.

SERRA, R.; GARCIA, M.; MASCARINI, S.; BASTOS, L.; MACEDO, R. Sistemas Regionais de Inovação: fundamentos conceituais, aplicações empíricas, agenda de pesquisa e implicações de políticas. Texto para Discussão n. 394, Instituto de Economia – UNICAMP, Campinas, 2020. Disponível em: <https://www.eco.unicamp.br/textos-de-discussao> Acesso em: 18 out. 2025.

SILVA, Dayanne Santos; SANTANA, José Ricardo de. Centros de Desenvolvimento Regional: Base científica local como elemento condicionante da extensão inovadora. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, v. 18, n. 4, p. 543-567, 2024. DOI: 10.54766/rberu.v18i4.1046. Disponível em: <<https://revistaaber.org.br/rberu>>. Acesso em: 02 nov. 2025.

SOETE, L.; PATEL, P. Analyzing technological change: a suggestion for a methodology. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 27, n. 2–3, p. 183–200, 1985.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Instituições e Políticas Industriais e Tecnológicas: Reflexões a partir da Experiência Brasileira. *Revista de Economia Política*, v. 26, n. 2, p. 163–185, 2006.

TÖDTLING, F.; TRIPPL, M. One Size Fits All? Towards a Differentiated Regional Innovation Policy Approach. *Research Policy*, v. 34, n. 8, p. 1203–1219, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.01.018> Acesso em: 01 nov. 2025.