

FACULDADES INTEGRADAS DE TAQUARA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
NÍVEL MESTRADO

GABRIEL SCHMITT MORAIS

INDICADORES DE DESEMPENHO EM ECOSSISTEMAS REGIONAIS DE
INOVAÇÃO:
Uma proposição para o Inova/RS

TAQUARA

2026

GABRIEL SCHMITT MORAIS

**INDICADORES DE DESEMPENHO EM ECOSSISTEMAS REGIONAIS DE
INOVAÇÃO:**

Uma proposição para o Inova/RS

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional, pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional das Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT).

Orientadora: Profa. Dra. Dilani Silveira Bassan

TAQUARA

2026

DEDICATÓRIAS

Aos que me acompanharam nesta jornada, ofereço este espaço na página, que ficará marcado para sempre no tempo – ainda que este breve e singelo ato não se posicione à altura do que fizeram e ainda farão por mim nesta vida; espero que esta dedicatória seja minimamente suficiente para que saibam o quanto vocês significam para mim. E, por isso, os cito – à minha mãe, Jaqueline Beatriz Schmitt, *in memoriam*, por dela ter herdado a paciência e a resiliência necessários para não desistir ao longo da caminhada; ao meu pai, Roberto Tadeu Ramos Morais, por ter sempre me incentivado a buscar o conhecimento e por ter me dado as oportunidades para que eu pudesse trilhar o meu próprio caminho; ao meu dindo, José Eduardo Zdanowicz, que com sua experiência muito me ensinou, inspirando-me sobre aspectos que carregarei comigo ao longo da vida; à minha vó, Alvarena Schmitt, que sempre demonstrou o seu orgulho pela minha trajetória, oferecendo-me palavras de apoio e carinho de uma maneira que só ela seria capaz; aos meus sogros, Delanir e Nilton Marangoni, por terem me apoiado em um período da minha vida em que eu muito necessitei, mesmo que não tivessem nenhuma obrigação – e ainda assim o fizeram -, e, por isso, sou eternamente grato; e, em especial, à minha grande parceira, Thainara Mara Marangoni, por ter sido paciente e compreensível pelas ausências repetidas ao longo das atividades que competem à plena execução de um Mestrado. Vocês são a minha base. E esta dissertação é também, de certa maneira, de vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) das Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT) pelos seus ensinamentos, lições, discussões, orientações e desafios. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para a realização deste Mestrado – sem isso, esta dissertação não seria possível. Agradeço à Dr^a Dilani Silveira Bassan por ter aceitado me orientar após as mudanças que transcorreram durante o Mestrado. Agradeço à banca pelas palavras de orientação, sugestões, e, sobretudo, críticas – com elas, com certeza esta dissertação não alcançaria as mesmas proporções e qualidade. Agradeço à Dr^a Moema Pereira Nunes pela parceria que construímos, compartilhando bons momentos, ao longo da jornada.

RESUMO

A geografia da inovação manifesta um paradoxo contemporâneo: à medida que a informação circula globalmente, a geração de valor torna-se crescentemente dependente de dinâmicas que ocorrem em escala local. O território afirma-se como o espaço onde proximidade física, cultura e relações de confiança podem favorecer a conversão de conhecimento em desenvolvimento, conferindo centralidade aos Ecossistemas Regionais de Inovação (ERIs) para a competitividade regional. Contudo, persiste a dificuldade em mensurar o seu desempenho, uma vez que métricas tradicionais apresentam limitações para captar a complexidade e as interdependências não lineares da inovação regional. Para enfrentar essa lacuna, esta dissertação teve como objetivo desenvolver um artefato de mensuração e aplicá-lo à Macrorregião Metropolitana e Litoral Norte (MMLN), no âmbito do programa Inova RS. A investigação adotou a abordagem *Design Science Research* (DSR) com métodos mistos. Após uma etapa qualitativa de estruturação junto ao comitê técnico regional, realizou-se uma modelagem quantitativa combinando *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), algoritmo de *Random Forest* e uma Rede Neural Artificial Multitarefa (MLP-MTL), buscando captar relações não lineares e reduzir a arbitrariedade na atribuição de pesos. Os resultados indicam que a diversidade de atores e a complexidade econômica apresentam associação relevante com o desempenho sistêmico, respondendo por mais de 55% da importância explicativa. Ademais, as análises sugerem que mais de 54% da variância do desempenho manifesta um comportamento não linear, o que auxilia na compreensão de fenômenos que variam desde o *lock-in* em polos industriais maduros até níveis elevados de eficiência socio sistêmica em municípios periféricos. O estudo indica que a eficiência ecossistêmica parece extrapolar a aglomeração tecnológica, estando vinculada a transições estruturais associadas à interação entre academia e setor produtivo, bem como à retenção de talentos. Como contribuição prática, a instanciação do artefato demonstrou viabilidade técnica para o suporte à decisão, embora se reconheça a necessidade de ciclos futuros de validação de usabilidade com usuários finais. Conclui-se que o modelo atua como uma ferramenta orientadora que visa subsidiar a transição de uma governança baseada em intuição para uma abordagem fundamentada em evidências, colaborando para o fortalecimento de redes territoriais e para uma especialização inteligente no Rio Grande do Sul.

PALAVRAS-CHAVE: Ecossistemas Regionais de Inovação; Redes Neurais Artificiais; Design Science Research; Inova RS; Inteligência Territorial.

ABSTRACT

The geography of innovation manifests a contemporary paradox: as information circulates globally, value generation becomes increasingly dependent on dynamics occurring at the local scale. The territory establishes itself as the space where physical proximity, culture, and trust relationships can favor the conversion of knowledge into development, granting Regional Innovation Ecosystems (RIEs) a central role in regional competitiveness. However, the difficulty in measuring their performance persists, as traditional metrics present limitations in capturing the complexity and non-linear interdependencies of regional innovation. To address this gap, this thesis aimed to develop a measurement artifact and apply it to the Metropolitan and North Coast Macro-region (MMLN) within the scope of the Inova RS program. The investigation adopted the Design Science Research (DSR) approach with mixed methods. After a qualitative structuring stage with the regional technical committee, quantitative modeling was performed combining Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), Random Forest algorithm, and a Multitask Artificial Neural Network (MLP-MTL), seeking to capture non-linear relationships and reduce arbitrariness in weight assignment. The results

indicate that the diversity of actors and economic complexity show a relevant association with systemic performance, accounting for more than 55% of the explanatory importance. Furthermore, the analysis suggests that more than 54% of the performance variance manifests a non-linear behavior, which aids in understanding phenomena ranging from lock-in in mature industrial hubs to high levels of socio-systemic efficiency in peripheral municipalities. The study indicates that ecosystem efficiency appears to extrapolate technological agglomeration, being linked to structural transitions associated with the interaction between academia and the productive sector, as well as talent retention. As a practical contribution, the instantiation of the artifact demonstrated technical viability for decision support, although the need for future usability validation cycles with end users is acknowledged. It is concluded that the model acts as a guiding tool aimed at subsidizing the transition from intuition-based governance to an evidence-based approach, collaborating for the strengthening of territorial networks and smart specialization in Rio Grande do Sul.

KEYWORDS: Regional Innovation Ecosystems; Artificial Neural Networks; Design Science Research; Inova RS; Territorial Intelligence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ecossistemas Regionais de Inovação (INOVA/RS)	18
Figura 2 - Framework conceitual do Ecossistema Regional de Inovação	31
Figura 3 – Correlação entre os índices por dimensão	46
Figura 4 - Desindustrialização relativa e a ascensão dos serviços	50
Figura 5 - Análise da dispersão setorial, participação do PIB no VAB - MMLN - 2002–2023	50
Figura 6 - Dinâmicas de adensamento econômico e a emergência de novas centralidades	51
Figura 7 - A ascensão das periferias metropolitanas e do Litoral Norte na abertura de empresas	52
Figura 8 - Eficiência na conversão de crescimento econômico em emprego	53
Figura 9 - Panorama da saúde regional: correlação entre longevidade e mortalidade precoce	55
Figura 10 - Risco e resiliência climática: emissões de CO ₂ e vs. IVCM por município	56
Figura 11 - Distribuição da equidade de gênero na alfabetização	58
Figura 12 - O legado educacional	59
Figura 13 - Gap de gênero na <i>pipeline</i> de produção: assimetria positiva e evasão masculina	60
Figura 14 - Taxa de Retenção ao longo de diferentes faixas etárias	61
Figura 15 - O fardo cognitivo regional: população dependente e força de trabalho alfabetizada	62
Figura 16 - Dinâmica intergeracional do capital humano	63
Figura 17 - Distribuição do coeficiente de dinâmica de gênero geracional	64
Figura 18 - Densidade de alfabetizados por km ²	65
Figura 19 - Distribuição do índice RDGAT	66
Figura 20 - Matriz de sinergia Universidade-Indústria	67
Figura 21 - <i>Output</i> acadêmico vs. demanda produtiva	69
Figura 22 - Capacidade financeira vs. priorização: análise da aplicação de recursos em MDE	70
Figura 23 - Identificação de polos de alta concentração de ensino superior de qualidade	71
Figura 24 - A geografia da retenção: volumes de formação e absorção municipal	72
Figura 25 - Vantagem Comparativa na modalidade de Ensino Superior	73
Figura 26 – A sinergia entre diversidade acadêmica e intensidade tecnológica	74
Figura 27 - A correlação entre o estoque de TIC e a densidade econômica territorial	75

Figura 28 - Matriz de <i>Score</i> de Infraestrutura Regional vs. Densidade Econômica	76
Figura 29 - Tipologia da estrutura produtiva	77
Figura 30 - Matriz de sofisticação econômica: densidade de riqueza e complexidade setorial	78
Figura 31 - Análise de elasticidade em função da densidade econômica municipal	79
Figura 32 - A elasticidade da demanda jurídica: litigiosidade e da densidade econômica	80
Figura 33 – O desempenho do IGDM vis-à-vis a densidade econômica municipal	81
Figura 34 - Polos de alta eficiência na geração de patentes ajustada pelo PIB	82
Figura 35 - Conversão de densidade econômica em exportações de alta tecnologia	83
Figura 36 - Curva de <i>Loss</i> média por época - <i>5 folds</i>	90
Figura 37 - Gráficos de Dependência Parcial (PDP) e Expectativa Condicional Individual (ICE)	91
Figura 38 - Matriz de desempenho do ERI MMLN	97
Figura 39 - Jornada guiada pelo artefato instanciado	100
Figura 40 - Instanciação: Seleção de Escopo Territorial e Recorte Temporal	101
Figura 41 - Instanciação: Seleção de Unidades Municipais e Navegação por Indicadores	102
Figura 42 - Instanciação: Comparativo Temporal, Dados Acumulados e Exportação de Evidências	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estruturação do modelo para mensuração de desempenho de ERIs	39
Quadro 2 - Etapas da pesquisa	41
Quadro 5 - Critérios de aderência e validade neural	44
Quadro 6 - Resultados do teste de Alpha de Cronbach por Dimensão	46
Quadro 7 - Critérios para Seleção e Retenção de Índices por Dimensão	48
Quadro 10 - Correção de assimetria e curtose dos indicadores pela padronização dos dados	84
Quadro 11 - Diagnóstico de Multicolinearidade por Eixo (VIF)	85
Quadro 12 - Hiperparâmetros do modelo MLP-MTL	89
Quadro 13 - Evolução do Treinamento e Convergência	92
Quadro 8 - Avaliação qualitativa da sugestão de indicadores pelos membros do Comitê Técnico da MMLN do Programa Inova/RS	140
Quadro 9 - Estruturação do modelo para mensuração de desempenho de ERIs	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das respostas coletadas	45
Tabela 2 - Resultados do Teste de Friedman por Dimensão	46
Tabela 3 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Suportadores de Valor (D1)	47
Tabela 4 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Inovação Realizada (D2)	47
Tabela 5 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Resultados da Proposta de Valor (D4)	48
Tabela 6 - Métricas de avaliação de desempenho do PLS-SEM	86
Tabela 7 - Avaliação Fornell-Larcker	86
Tabela 8 - Resultados do HTMT	86
Tabela 9 - Relação estrutural de caminhos	87
Tabela 10 - Resultados das métricas de desempenho em cada <i>Fold</i>	88
Tabela 11 – Importância das variáveis do modelo RF	88
Tabela 12 - Desempenho das RNA por <i>fold</i>	89
Tabela 13 - Importância de variáveis pelo RNA	90
Tabela 14 - Matriz de Elasticidade Pós-Ridge	93
Tabela 15 - Resultados SHAP (importância relativa média absoluta)	93
Tabela 16 - Comparativo de desempenho entre os modelos	94

LISTA DE SIGLAS

ANATEL – AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES
 ANPROTEC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES
 API – INTERFACE DE APLICAÇÃO DE PROGRAMAS
 BDBTD – BIBLIOTECA DIGITAL BRASILEIRA DE TESES E DISSERTAÇÕES
 BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL
 CBO – CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA DE OCUPAÇÕES
 CDGG - COEFICIENTE DE RUPTURA CULTURAL
 CI – CENTROS DE INOVAÇÃO
 CNPq – CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO
 CR - CONFIABILIDADE COMPOSTA
 CUIE - CONECTIVIDADE UNIVERSIDADE-INDÚSTRIA-EMPRESA
 DEA - DENSIDADE DE EXCELÊNCIA ACADÊMICA
 DIF - DENSIDADE DE INFRAESTRUTURA FORMATIVA
 DSR – DESIGN SCIENCE RESEARCH
 EAC – EMPRESAS DE ALTO CRESCIMENTO
 ECI - EXPECTATIVA CONDICIONAL INDIVIDUAL
 EI – ECOSSISTEMAS DE INOVAÇÃO
 ERI – ECOSSISTEMAS REGIONAIS DE INOVAÇÃO
 ESTBAN – ESTATÍSTICAS BANCÁRIA MENSAL POR MUNICÍPIO
 FACCAT – FACULDADES INTEGRADAS DE TAQUARA
 FAP – FUNDAÇÕES DE AMPARO À PESQUISA
 FAPERGS – FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
 FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS
 GNNs - REDES NEURAIS EM GRAFOS
 GPP - GÊNERO NA PIPELINE DE PRODUÇÃO
 HTMT - HETEROTRAIT-MONOTRAIT RATIO
 IAA - ÍNDICE DE ALFABETIZAÇÃO AVANÇADA
 IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
 ICCH - ÍNDICE DE CONVERSÃO DE CAPITAL HUMANO

ICT – INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
IDQ - ÍNDICE DE DEPENDÊNCIA QUALIFICADA
IEA - ÍNDICE DE EQUIDADE DE ACESSO
IEEE - ÍNDICE DE ESFORÇO EDUCACIONAL ESTRATÉGICO
IECP - ÍNDICE DE ESPECIALIZAÇÃO STEM E COMPLEXIDADE DE PORTFÓLIO
IES – INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR
IGDM – ÍNDICE DE GESTÃO DESCENTRALIZADA DOS MUNICÍPIOS
IMC - ÍNDICE DE MASSA CRÍTICA
IMERS – ÍNDICE MUNICIPAL DA EDUCAÇÃO DO RIO GRANDE DO SUL
INEP – INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXERIA
INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL
IPEA – INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS APLICADAS
IPS – ÍNDICE DE PROGRESSO SOCIAL
IRCH - ÍNDICE DE RESILIÊNCIA DO CAPITAL HUMANO
ITIC - INFRAESTRUTURA DE TIC
LGPD – LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS PESSOAIS
LSTM - LONG SHORT-TERM MEMORY
MCTIC – MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
MDERI - MATRIZ DE DESEMPENHO DOS ECOSISTEMAS REGIONAIS DE INOVAÇÃO
MDS – MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO E ASSISTÊNCIA SOCIAL, FAMÍLIA E COMBATE À FOME
MLP-MTL - REDE NEURAL MULTI-TASK
MMLN – MACRORREGIÃO METROPOLITANA E LITORAL NORTE
NIT – NÚCLEOS DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
P&D – PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
PDP - DEPENDÊNCIA PARCIAL
PIB – PRODUTO INTERNO BRUTO
PINTEC – PESQUISA INDUSTRIAL DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PLS-SEM - PARTIAL LEAST SQUARES STRUCTURAL EQUATION MODELING
PPGDR – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
PUC/RS - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
RAIS – RELAÇÃO ANUAL DE INFORMAÇÕES SOCIAIS

RDGAT - RAZÃO DE DEPENDÊNCIA DE GÊNERO NA ALFABETIZAÇÃO TARDIA
RIS3 – ESTRATÉGIAS DE PESQUISA E INOVAÇÃO PARA ESPECIALIZAÇÃO INTELIGENTE
RS – RIO GRANDE DO SUL
S3 – ESTRATÉGIAS DE ESPECIALIZAÇÃO INTELIGENTE
SHAP - SHAPLEY ADDITIVE EXPLANATIONS
SI – SISTEMAS DE INOVAÇÃO
SICT – SECRETARIA DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
SIR - *SCORE* DE INFRAESTRUTURA REGIONAL
SNI – SISTEMAS NACIONAIS DE INOVAÇÃO
SRI – SISTEMAS REGIONAIS DE INOVAÇÃO
STJ – SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA
TCE/RS – TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
TIC – TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO
TRT - TAXA DE RETENÇÃO DE TALENTOS
TRE - TAXA DE RETENÇÃO EDUCACIONAL
UFRGS – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNISINOS - UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
VAB – VALOR ADICIONADO BRUTO
XAI - IA EXPLICÁVEL

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO: Da Aglomeração à Inteligência - O Desafio de Mapear e Potencializar a Inovação Regional	16
2 A Geografia da Inovação: Por que o Lugar (<i>ainda</i>) Importa no Século XXI?.....	20
2.1 Modelos de organização territorial: da aglomeração à estratégia de especialização .	21
2.2 Anatomia dos ecossistemas: da metáfora biológica à coevolução de valor	23
2.2.1 O ecossistema " <i>phygital</i> ": dinâmicas de plataforma e fronteiras territoriais.....	25
2.2.2 Fronteiras, fluxos e tipologias: como identificar e delimitar um ecossistema vivo?.....	26
2.2.3 Tipologia dos agentes: a hélice quádrupla e o papel da orquestração	27
2.2.4 A dinâmica de valor: interações, papéis e governança	28
2.2.5 Porosidade e transbordamento: a coesão interna e as conexões globais	29
2.2.6 A arte da governança: da orquestração à coreografia.....	30
2.3 O dilema da mensuração: novas abordagens de desempenho	31
2.3.1 Do abstrato ao tangível: o painel de controle da inovação regional	32
2.3.2 Inteligência de Ecossistemas: monitoramento e evidência baseada em dados.....	36
3 A ARQUITETURA DA PESQUISA	41
3.1 O ambiente de pesquisa: a governança do Programa INOVA/RS	41
3.2 A engenharia da pesquisa: questionário de validação e dados abertos	41
3.3 Modelagem e análise de dados: abordagem híbrida para validação teórica e preditiva	42
3.4 Transferência tecnológica e apropriação social do artefato	45
4.1 Refinamento do artefato: critérios de seleção e retenção de indicadores	51
4.2 Análise das sugestões qualitativas dos especialistas	52
4.3 Assimetrias regionais: a formação de ilhas de prosperidade	52
4.3.1 A transição para uma economia de serviços e a rigidez do setor público	53
4.3.2 O paradoxo do bem-estar: longevidade, saúde mental e capital humano.....	58
4.3.3 Sustentabilidade e risco climático	60

4.4 Do diagnóstico à causalidade: a necessidade da engenharia de características na modelagem do ecossistema.....	63
4.4.1 O estoque cognitivo feminino: potencial latente para a economia do conhecimento	63
4.4.2 O legado educacional e a prontidão para a longevidade	64
4.4.3 A fronteira da profissionalização: a evasão seletiva do capital humano	65
4.4.4 Dinâmica de vazamento de capital humano	66
4.4.5 O custo da manutenção social	67
4.4.6 A dinâmica intergeracional: qualificação juvenil e a garantia da sucessão econômica ..	68
4.4.7 A velocidade da mudança social	69
4.4.8 A densidade cognitiva do território	70
4.4.9 A arquitetura da resiliência social	71
4.4.10 A matriz de sinergia Universidade-Indústria.....	72
4.4.11 O fluxo entre a formação de excelência e a absorção laboral STEM.....	73
4.4.12 O orçamento em educação como estratégia	75
4.4.13 A hierarquia do saber.....	76
4.4.14 A matriz de maturidade do capital humano.....	77
4.4.15 O <i>hardware</i> da inovação: matriz de especialização da infraestrutura formativa	78
4.4.16 A complexidade econômica do saber	79
4.4.17 A base digital da produtividade: análise do estoque de TIC e densidade econômica ...	80
4.4.18 O teto da inovação: densidade de mecanismos de geração de empreendimentos	81
4.4.19 A variedade relacionada como motor de inovação.....	82
4.4.20 A falácia do volume: relação entre densidade econômica e complexidade setorial.....	83
4.4.21 Elasticidade do investimento público em C&T.....	84
4.4.21 O custo da complexidade: a relação entre densidade econômica e intensidade jurídica	85
4.4.22 Riqueza não é competência	86
4.4.23 A materialização do conhecimento: inovação e a escala de produção de patentes	87

4.4.24 A fronteira de competitividade: densidade econômica e exportações de alta tecnologia	88
4.5 Validação metodológica e tratamento de variáveis	89
4.5.1 Modelo de referência explicativo: PLS-SEM.....	90
4.5.2 Benchmark não-linear: RandomForest.....	92
4.5.3 Rede Neural Multi-Task (MLP-MTL)	93
4.6 Comparativo entre modelos.....	99
5.1 O artefato instanciado: Plataforma Ponteiro Digital.....	103

1 INTRODUÇÃO: DA AGLOMERAÇÃO À INTELIGÊNCIA - O DESAFIO DE MAPEAR E POTENCIALIZAR A INOVAÇÃO REGIONAL

O desenvolvimento territorial contemporâneo não se resume à expansão das atividades produtivas, mas fundamenta-se na articulação complexa entre economia, equidade social e resiliência ambiental. É a partir dessa perspectiva sistêmica que esta dissertação – vinculada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da FACCAT, na linha de pesquisa de *Economia, Meio Ambiente e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial Sustentável* – investiga o papel dos Ecossistemas de Inovação (EI) no contexto regional.

A inovação é um fenômeno capaz de catalisar a prosperidade ou acentuar disparidades territoriais. Ela ocorre a partir de processos evolucionários (Schumpeter, 1997; Nelson, 2018) que são movidos pela intencionalidade de atores em sistemas orgânicos de interação (Arthur, 1999; Russell; Smorodinskaya, 2018). Ao passo que o crescimento intensivo em inovação tem percorrido trajetórias dependentes da localidade - resultando em benefícios assimétricos entre regiões-, o desenvolvimento desigual tem se consolidado como um desafio político atual (Bramwell *et al.*, 2019; Bosma; Holvoet, 2015; Klagge *et al.*, 2017; Rodríguez-Pose, 2018).

A importância das aglomerações para o desenvolvimento regional foi impulsionada pelos estudos de Sistemas de Inovação (SI) conduzidos por Lundvall (1985) e Nelson (1993), que cunharam o conceito de Sistemas Nacionais de Inovação (SNI). Naquele período, a inovação se consolidou como a temática central em aglomerações industriais (Freeman, 1987; 1995; Lundvall; Dosi; Freeman, 1988), cujas vantagens competitivas foram demonstradas por Porter (1980) e reforçadas por Krugman (1991), Putnam (2000), McCann (2001), Lundvall (2004) e Izsak *et al.* (2013). Todavia, o modelo de SNI enfrentou críticas por sua generalização, sem dar ênfase às especificidades regionais (Leydesdorff, 2000; Cooke, 1992; 2001; Cooke; Heidenreich; Braczyk, 2004; Morgan; Cooke, 1998; Cooke *et al.*, 1997).

Essa insuficiência redirecionou o foco para a dimensão territorial e para os ativos de cada localidade. Emergiu, neste contexto, críticas sobre as dimensões políticas e institucionais do território, fundamentadas na premissa de que o *locus* do crescimento é local, transcendendo fronteiras administrativas (Donegan; Feldman, 2022). A literatura passou, então, a reconhecer a proximidade geográfica como facilitadora para a troca de conhecimento tácito e para a construção de confiança entre atores heterogêneos (Asheim; Gertler, 2006; Malmberg; Maskell, 2002). Consolidou-se, assim, a premissa de que a região constituía o nível adequado para estimular a competitividade e a capacidade inovativa (Asheim, 2007; Asheim *et al.*, 2019), favorecendo dinâmicas relacionais e de aprendizado interativo, evoluindo-se para uma abordagem ecológica.

Historicamente, o conceito de ecossistema foi introduzido por Tansley (1935) e, posteriormente, transposto para a literatura de negócios e economia por Moore (1996) e Rothschild (1990). No campo econômico, o termo funciona como uma metáfora que enriquece os modelos tradicionais de sistemas ao abordar a complexa interdependência de atores envolvidos na geração e captura de valor (Adner, 2017; Dedehayir *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2022; Stahl, 2022; Russell; Smorodinskaya, 2017; Rusell *et al.*, 2011). Tais ecossistemas são arquitetados para sustentar vantagens competitivas de forma autônoma, combinando recursos e capacidades especializadas para a cocriação de valor (Walrave *et al.*, 2018; Granstrand; Holgersson, 2020; Jacobides; Veloso; Wolter, 2014), evoluindo segundo suas peculiaridades (Weber; Hine, 2015).

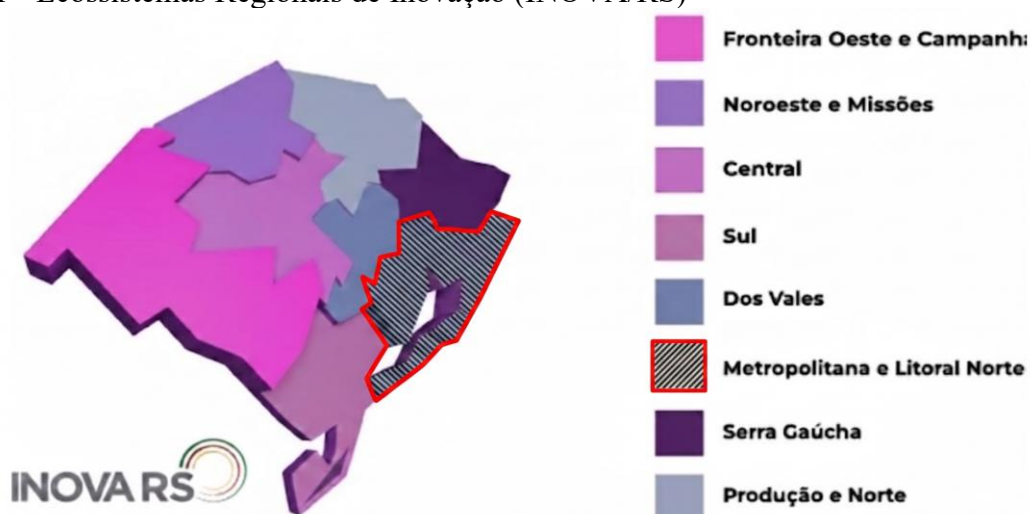
Nesse cenário contemporâneo marcado pelo dinamismo tecnológico, os Ecossistemas Regionais de Inovação (ERIs) emergem como uma contraposição ao modelo mecanicista dos sistemas econômicos tradicionais ao introduzirem princípios de desenvolvimento não linear, simbiose e auto-organização, catalisando a criatividade e a inovação de forma adaptativa (Russell; Smorodinskaya, 2018; Basole, 2009; Carayannis; Campbell, 2009). Diversos autores corroboram que os ERIs são as estruturas mais adequadas para estimular a capacidade inovativa e a competitividade territorial (Asheim, 2007, 2019; Asheim *et al.*, 2019; Malmberg; Maskell, 2002), enfatizando o papel da proximidade espacial nesse processo (Asheim; Gertler, 2006). Nesse contexto, estratégias que fomentem a capacidade inovativa são imperativas para a construção da sustentabilidade e competitividade das nações (Kuhlman *et al.*, 2017; Grupp; Moguee, 2004; Izsak *et al.*, 2013), tornando a compreensão dos ERIs um desafio central para o desenvolvimento regional.

Apesar do crescente interesse acadêmico nos ambientes de inovação, persistem lacunas significativas quanto à mensuração de seu desempenho, especialmente sob uma perspectiva regional. Embora autores tenham proposto estruturas para caracterizar esses ambientes (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000; Freeman; Soete, 2009), tais métricas frequentemente falham em capturá-los de forma fidedigna devido a um descompasso com a realidade prática (Cohen; Nelson; Walsh, 2002; Foray; Lissoni, 2010; Mowery; Sampat, 2006). A medição permanece como uma tarefa complexa e subjetiva, carecendo de clareza na definição de indicadores que auxiliem a tomada de decisão (Hyrnsalmi; Mantymaki, 2018; Oh *et al.*, 2016; Pidun *et al.*, 2021). Nesse contexto, especialistas apontam o acesso a dados abertos como um impulsionador para o desenvolvimento de métricas de inovação mais robustas (Carayannis; Goletsis; Grigoroudis, 2017). No cenário brasileiro, La Rovere *et al.* (2021) identificaram obstáculos na

implementação de medidas de desempenho, propondo o uso de mineração de dados, *big data* e inteligência artificial como vias de solução.

Diante dessa conjuntura, a presente pesquisa delimita os ERIs como objeto de estudo, adotando o mapeamento estabelecido pelo programa INOVA/RS, da Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia (SICT) do Rio Grande do Sul (Figura 1). Tem como recorte territorial a Macrorregião Metropolitana e Litoral Norte (MMLN), área que engloba a capital Porto Alegre e representa 38% da população estadual, distribuída em 90 municípios¹, detendo cinco dos dez maiores Produtos Internos Brutos (PIBs) do Estado (SICT, 2024). Ela conta com uma ampla gama de atores, tal como universidades – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUC/RS), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) dentre outras -, empresas, *startups*² e instituições de fomento - representada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS). A escolha da MMLN justifica-se, também, pela inserção do PPGDR da FACCAT na macrorregião, viabilizando a execução desta pesquisa.

Figura 1 - Ecossistemas Regionais de Inovação (INOVA/RS)



Fonte: adaptado de Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia (SICT)/RS (2024).

¹Alto Feliz, Alvorada, Arambaré, Araricá, Arroio do Sal, Arroio dos Ratos, Balneário Pinhal, Barão, Barão do Triunfo, Barra do Ribeiro, Bom Princípio, Brochier, Butiá, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Capão da Canoa, Capela de Santana, Capivari do Sul, Caraá, Cerro Grande do Sul, Charqueadas, Cidreira, Cristal, Chувиска, Dois Irmãos, Dom Feliciano, Dom Pedro de Alcântara, Eldorado do Sul, Estância Velha, Esteio, Feliz, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Harmonia, Igrejinha, Imbé, Itati, Ivoti, Lindolfo Collor, Linha Nova, Mampituba, Maquiné, Maratá, Mariana Pimentel, Minas do Leão, Montenegro, Morrinhos do Sul, Morro Reuter, Mostardas, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Osório, Palmares do Sul, Pareci Novo, Parobé, Portão, Porto Alegre, Presidente Lucena, Riozinho, Rolante, Salvador do Sul, Santa Maria do Herval, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo, São José do Hortêncio, São José do Sul, São Leopoldo, São Pedro da Serra, São Sebastião do Caí, São Vendelino, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Sentinela do Sul, Sertão Santana, Tapes, Taquara, Terra de Areia, Torres, Três Cachoeiras, Três Coroas, Três Forquilhas, Triunfo, Tramandaí, Tupandi, Vale Real, Viamão e Xangri-lá.

² Com aproximadamente 6,2% do total de empresas de alto crescimento no país (ABSTRATUPS, 2023).

Diante deste cenário, a questão central desta pesquisa é: *Como mensurar o desempenho dos Ecossistemas Regionais de Inovação (ERI)?* Para tanto, o objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um artefato de mensuração capaz de avaliar o desempenho dos ERIs. Para responder à pergunta, formularam-se as seguintes hipóteses (H): H1: ERIs que combinam diversidade de atores, infraestrutura de apoio robusta e acesso a capital apresentam desempenhos superiores; H2: A densidade de empresas em relação à densidade de Instituições de Ensino Superior (IES) em um ERI é diretamente proporcional à efetividade das inovações geradas; H3: ERIs que possuem uma relação equilibrada entre investimento em P&D e volume de oportunidades de investimento apresentam melhores desempenhos.

A relevância deste trabalho para o PPGDR manifesta-se no preenchimento de uma lacuna sistemática sobre a mensuração de ERIs. Uma análise na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) entre 2013 e 2023 revelou que, embora pesquisas como as de Bartz (2021), Baptista (2019) e Fagundes (2022) contribuam para o entendimento das interações nos EIs, e estudos como o de Rodrigues *et al.* (2019) e Brettas (2022) explorem a relação entre inovação e desenvolvimento local, ainda se carece de modelos quantitativos sistemáticos baseados em dados para avaliar a eficácia desses ambientes.

Metodologicamente, esta pesquisa fundamenta-se no *Design Science Research* (DSR) para a instanciação de um artefato de mensuração, utilizando uma abordagem mista (Creswell, 2010) que integra a validação qualitativa junto a um Comitê Técnico com modelagem estatística. Para a construção da Matriz de Desempenho e o teste das hipóteses (H1, H2 e H3), adotou-se uma triangulação de métodos: o *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), para a validação das relações estruturais latentes; o *Random Forest*, como *benchmark* não paramétrico; e, como modelagem principal, uma Rede Neural *Multi-Task* (MLP-MTL) desenvolvida em *framework PyTorch*.

A escolha pela arquitetura neural justifica-se por sua superioridade na modelagem de fenômenos não lineares e na captura de efeitos de limites em dados com alta curtose e distribuições não normais, superando as limitações de modelos lineares convencionais (Haykin, 2009; Goodfellow *et al.*, 2016). O modelo opera sob uma lógica de aprendizado multitarefa com ponderação dinâmica por incerteza, o que permite mitigar subjetividades na atribuição de pesos. Por fim, a eficácia do artefato é atestada por métricas de performance preditiva e pela Análise de Elasticidade, que atua como um método de Inteligência Artificial Explicável (XAI) para diagnosticar a relevância e a sensibilidade de cada atributo no desempenho dos ERIs (Ahani *et al.*, 2017), complementada pela decomposição das contribuições marginais via *Shapley Additive explanations* (SHAP) *values* (Lundberg; Lee, 2017).

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. Após esta introdução, o Capítulo 2 apresenta a revisão teórica sobre ecossistemas, inovação e complexidade. O Capítulo 3 detalha os procedimentos metodológicos, o protocolo DSR e o tratamento dos dados abertos. O Capítulo 4 expõe o treinamento, o comparativo preditivo e a validação do modelo. O Capítulo 5 consolida o Diagnóstico Regional, aplicando a inteligência gerada em uma matriz de posicionamento dos municípios da MMLN, ao mesmo passo em que o artefato instanciado é apresentado. Por fim, o Capítulo 6 encerra a pesquisa com as considerações finais, limitações técnicas e diretrizes estratégicas para o INOVA/RS.

2 A GEOGRAFIA DA INOVAÇÃO: POR QUE O LUGAR (*AINDA*) IMPORTA NO SÉCULO XXI?

As economias em desenvolvimento enfrentam barreiras estruturais para competir em tecnologias de fronteira, o que se reflete em baixa diversificação produtiva e capacidade inovativa limitada (Tiits et al., 2015; Tiits; Kattel; Kalvet; Tamm, 2008). Parte dessa dificuldade está na consolidação de ambientes onde empreendedorismo e inovação possam se sustentar ao longo do tempo (Grillitsch; Asheim, 2018). Em contextos periféricos, o problema é intensificado por desigualdades territoriais de produtividade, que dificultam a interação entre indústrias, universidades e poder público (Esteves; Feldmann, 2016; De Negri, 2018; Mazzucato; Caetano, 2016).

A ênfase na escala regional ganhou força após críticas aos SNIs, considerados generalistas, com pouca atenção ao território e relações pouco claras entre seus componentes (Cooke, 1992; 2001; Cooke et al., 1997). Diante da heterogeneidade do crescimento baseado em inovação (Bramwell et al., 2019; Bosma; Holvoet, 2015), passaram a ganhar espaço abordagens voltadas a agrupamentos produtivos (Humphrey; Schmitz, 1996a; 1996b; Rosenfeld, 1997; Altenburg; Meyer-Stamer, 1999), com políticas orientadas às especificidades locais (Asheim, 2007).

A incorporação do “lugar” desloca a inovação para um contexto geográfico socialmente enraizado (Welter; Smallbone, 2011), no qual normas e convenções locais assumem papel relevante (Gaddefors; Anderson, 2017) e passam a funcionar como recursos para a atividade inovadora (McKeever; Jack; Anderson, 2015). Essa dinâmica territorial contribui para que regiões enfrentem problemas históricos sob novas perspectivas, gerando valor econômico e socialmente compartilhado (Harrison; Leitch, 1994; Lucas; Fuller, 2017).

A relevância estratégica dos ecossistemas regionais é destacada na literatura, especialmente quando articulados com apoio do Estado para sustentar a inovação no território (Hassink, 2010a; 2010b). Ao funcionarem como espaços de criação e difusão de conhecimento

tácito, favorecem transbordamentos de conhecimento, acesso a recursos e o fortalecimento de relações entre atores, contribuindo para a competitividade regional (Dyer; Singh; Hesterly, 2018; Asheim, 2012).

Nessa perspectiva, a base cognitiva da região passa a influenciar seu desempenho econômico, já que a vantagem territorial está associada à capacidade de gerar conhecimento complexo e de maior valor agregado (Balland; Rigby, 2017; Lawson; Lorenz, 1999; Storper; Venables, 2004). Sustentar essa condição envolve formas de governança regional, concentração de capital humano e infraestrutura adequada (Andersson; Karlsson, 2004; Florida; Mellander; Stolarick, 2008), em um arranjo marcado por cooperação e competição simultâneas que favorecem a dinâmica tecnológica e o desenvolvimento territorial (Carayannis et al., 2018a).

Consequentemente, a evolução tecnológica e organizacional contemporânea passou a demandar modelos integrativos e orgânicos, ancorados nas vocações e potencialidades locais (Flanagan, Uyarra, Laranja, 2011; Uyarra *et al.*, 2017). Para construir soberania tecnológica, as regiões são solicitadas a expandir seus estoques de conhecimento por meio de processos evolutivos e dinâmicos de utilização e recombinação de saberes complexos (Nelson; Winter, 1982; Cooke *et al.*, 1997). Nesse ecossistema, cada território tece suas próprias condições de inovação, as quais são indissociáveis de sua dependência de trajetória socioeconômica, da eficiência de suas instituições e das competências culturais historicamente acumuladas (Asheim *et al.*, 2016). É exatamente na intersecção entre a agência coletiva dos atores locais e a espessura da estrutura institucional regional que este estudo se posiciona para investigar e mensurar as dinâmicas de desempenho territorial.

2.1 Modelos de organização territorial: da aglomeração à estratégia de especialização

A operacionalização do desenvolvimento no nível territorial foi historicamente atribuída a modelos de aglomeração produtiva caracterizados por organizações geograficamente próximas e interconectadas que operam sob uma especialização produtiva coordenada (Alderete; Bacic, 2018; Ketels, 2013). Contudo, a extração de lições aprendidas a partir desses modelos é dificultada pela carência de instrumentos de mensuração e monitoramento de desempenho (Alderete; Bacic, 2018).

Superando essa visão puramente produtiva, teorias fundamentadas no território ganharam relevância ao enfatizar o desenvolvimento endógeno e a interação sistêmica entre os agentes (Aranguren; Magro; Wilson, 2017). Diferente dos arranjos anteriores, os SRIs fundamentam-se em fatores regionais que potencializam o desempenho inovativo (Braczyk; Cooke; Heidenreich, 1998; Asheim; Gertler, 2006). Eles compreendem um conjunto interativo

de interesses públicos e privados, envolvendo instituições formais e organizações que operam sob combinações propícias à geração e disseminação de conhecimento (Lund; Karlsen, 2020; Ritala *et al.*, 2013; Radziwon; Bogers; Bilberg, 2017; Malerba, 2002; Cooke, 1998; Asheim, 2002). Em essência, os SRI representam a soma das organizações que contribuem para a criação, absorção e aplicação de conhecimento economicamente relevante em uma região específica (Cooke, 2004). Todavia, muitas vezes falham em gerar valor ao tentarem se conectar a sistemas externos (Belussi; Sammarra; Sedita, 2010). Essa limitação abriu espaço para estratégias pautadas na especialização local em setores intensivos em inovação, conhecidas como Estratégias de Especialização Inteligente (S3) (Asheim, 2018).

O modelo S3 envolve a construção de uma visão estratégica para o território, identificando vocações, prioridades e o uso inteligente de políticas públicas para maximizar o progresso do conhecimento (Iacobucci, 2014; Foray, 2014a; Foray *et al.*, 2012), consolidando vantagens competitivas únicas (Tiits *et al.*, 2015). Fundamentada em teorias evolutivas e institucionais, a S3 busca fornecer racionalidades políticas ajustadas às necessidades territoriais, concentrando recursos em domínios de especialidade recém-descobertos (Foray, 2014b; 2017). Visto que o crescimento econômico é o objetivo final, a S3 interconecta-se ao desenvolvimento da economia por meio do investimento massivo em conhecimento, tecnologia e capital humano (Camagni; Capello, 2013; Tiits *et al.*, 2015).

Derivadas dessa abordagem, as Estratégias de Pesquisa e Inovação para Especialização Inteligente (RIS3) surgem como uma evolução operacional aplicável sobre a base dos SRIs (Asheim; Gertler, 2005; Cooke, 2001). Seu propósito é o fomento à aprendizagem mútua transregional, orientando formuladores de políticas conforme os ativos específicos de cada região (McCann; Ortega-Argiles, 2016a; 2016b). Para determinar áreas prioritárias de investimento, a RIS3 propõe processos de "autodescoberta empreendedora", visando a eficiência no uso dos recursos públicos e a percepção efetiva das oportunidades locais (Morgan, 2013). Essa lógica tem fundamentado iniciativas governamentais em diversos contextos, a exemplo dos projetos Brasília 2060 (Barroeta *et al.*, 2017), RIS3 Pernambuco, Innov-AL (Bosch; Vonortas, 2019) e Paraná 2040 (iAraucaria, sd). Alinhado a esse movimento global, o programa INOVA/RS (SICT, 2024) estrutura-se explicitamente sobre a metodologia RIS3, utilizando-a para orquestrar o desenvolvimento do EI gaúcho.

Entretanto, a implementação bem-sucedida dessas estratégias em economias em desenvolvimento enfrenta desafios significativos se o ambiente subjacente não for propício (Sollerio-Rebolledo *et al.*, 2021), em que fatores endógenos — como a inovação social (Cooke, 2001), cadeias de valor integradas, sistemas industriais (Saxenian, 1996), acesso à capital

financeiro (Chiaroni; Chiesa, 2006), empreendedorismo (Owen-Smith *et al.*, 2010) e redes de conhecimento (Lundvall, 2010; Granovetter, 1985; Owen-Smith; Powell, 2004) — tornam-se essenciais para a eficácia dos processos inovativos (McCann, 2001).

Portanto, a eficácia da RIS3 depende de um ambiente onde partes interessadas interajam e coevoluam dinamicamente, superando a visão estática de arranjo produtivo para a de um sistema vivo (Rong *et al.*, 2018; Pidorycheva, 2020). Nesse sentido, as bases operacionais contemporâneas derivam de um espectro interdisciplinar que sintetiza teorias de desenvolvimento econômico regional (Amin; Cohendet, 1999; Malecki; Malecki, 1991; Stam, 2015), sistemas regionais (Cooke, 2007; Sternberg, 2007), *clusters* (Delgado; Porter; Stern, 2010; 2014) e redes interorganizacionais (Dhanaraj; Parkhe, 2006).

Dessa forma, a interseção teórica que embasa este estudo reside na compreensão de que o ecossistema regional deve funcionar como o suporte para a coevolução adaptativa e a superação de incertezas sistêmicas (Scaringella; Radziwon, 2018; Zhang *et al.*, 2007; Rong *et al.*, 2013; Adner, 2017; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018). O desafio consiste em assegurar que essas interações sustentem estratégias de especialização e integrem-se às dinâmicas globais de inovação, otimizando o aproveitamento de recursos e oportunidades territoriais.

2.2 Anatomia dos ecossistemas: da metáfora biológica à coevolução de valor

A transposição do conceito de ecossistema para o domínio econômico, proposta inicialmente por Rothschild (1990), introduz constructos de sistemas sobrepostos (Bacharach, 1989) que rompem com a percepção mecanicista tradicional dos sistemas produtivos (Russell; Smorodinskaya, 2018). Analogamente aos sistemas biológicos, o objetivo aqui é a manutenção de um equilíbrio sustentável fundamentado em relações complexas e auto-organizáveis (Moore, 1996; Smorodinskaya *et al.*, 2017; Briscoe; Sadedin, 2007). Essa abordagem permite a abstração de fenômenos sistêmicos que extrapolam a observação direta (MacCorquodale; Meehl, 1948; Suddaby, 2010), posicionando o ecossistema como um catalisador de criatividade e evolução constante (Basole, 2009; Carayannis; Campbell, 2009; Wallner; Menrad, 2011), capaz de gerar resultados que seriam inviáveis em cenários de isolamento (Durst; Poutanen, 2013; Adner, 2006).

Diferentemente de outras tipologias (Clarysse *et al.*, 2014; Stam, 2015; Acs *et al.*, 2018; Audretsch; Belitski, 2017; Sussan; Acs, 2017; De Vasconcelos Gomes *et al.*, 2018; Ferasso *et al.*, 2018; Colombo *et al.*, 2019), os EIs distinguem-se por sua multidimensionalidade, embora mantenham compatibilidade teórica conforme o enfoque (Autio; Thomas, 2014; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2015; Ritala; Almpnanopoulou, 2017; Shaw; Allen, 2018; Granstrand;

Holgersson, 2020). Sua evolução depende de características idiossincráticas (Weber; Hine, 2015), consolidando-os como estruturas proeminentes na economia contemporânea ao superarem barreiras setoriais tradicionais (Rabelo; Bernus, 2015; Rabelo; Bernus; Romero, 2015; Autio; Thomas, 2014).

Nesse contexto, a anatomia de um EI engloba elementos constitutivos tais como: atores, capital, regulamentações, conhecimento e ideias (Carayannis *et al.*, 2012a, 2012b; Durst *et al.*, 2013). Tais componentes são articulados por interfaces de relacionamento, pela cultura local e pela própria arquitetura do sistema (Carayannis *et al.*, 2012a; Hwang, Horowitz, 2012; Olson *et al.*, 2013). Portanto, a eficácia dos resultados está diretamente vinculada à forma como os atores interagem, mitigam conflitos e estabelecem regras de convivência (Hwang, Horowitz, 2012).

Essa dinâmica de interação exige uma mudança de perspectiva analítica: evolui-se da convencional barganha por captura de valor e desafios internos da firma (Porter, 1980; Teece, 1986; Brandenburger; Stuart, 1996; Nalebuff; Brandenburger, 1997; Anderson; Tushman, 1986; Christensen, 1997) para um entendimento sistêmico de criação de valor e enfrentamento de desafios externos (Adner; Kapoor, 2010). Assim, a inovação sustentada é viabilizada por processos de coespecialização e coevolução temporal (Moore, 1996; Iansiti; Levien, 2004a, 2004b; Adner; Kapoor, 2010; Weber; Hine, 2015; Smorodinskaya *et al.*, 2017; Ritala; Almpantopoulou, 2017), incorporando simultaneamente dimensões de valor social e cultural (Rusell *et al.*, 2011).

Devido a essa complexidade e relevância, observa-se um crescimento de interesse acadêmico e gerencial pelo tema (Moore, 1996; Oh *et al.*, 2016; Ritala; Almpantopoulou, 2017; Tsujimoto *et al.*, 2018; De Vasconcelos Gomes *et al.*, 2018; Ferasso *et al.*, 2018; Yaghmaie; Vanhaverbeke, 2019; Audretsch *et al.*, 2019), em que o conceito se expandiu do cenário de negócios para diversos contextos de pesquisa (Decker *et al.*, 2000; Seppelt *et al.*, 2011; Adner, 2017; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018; Thomas; Autio *et al.*, 2018; Järvi *et al.*, 2018).

Para este estudo, entende-se que os EI não se organizam a partir de um único ator central (Jucevičius; Grumadaitė, 2014; Pombo-Juárez *et al.*, 2017; Granstrand; Holgersson *et al.*, 2018; Yaghmaie; Vanhaverbeke, 2020). Eles envolvem inovações simultâneas e interdependentes, nas quais os atores permanecem conectados por objetivos compartilhados (Papaioannou *et al.*, 2009) e pela combinação de recursos complementares que sustentam vantagens competitivas (Walrave *et al.*, 2018; Granstrand; Holgersson, 2020; Jacobides; Veloso; Wolter, 2014). As decisões coletivas e ações intencionais desses atores influenciam a expansão ou o declínio do ecossistema (De Vasconcelos Gomes *et al.*, 2018; Valkokari, 2015; Adner; Kapoor, 2010; Lusch; Vargo; Tanniru, 2010; Tsujimoto *et al.*, 2018). Ao mesmo tempo, a ausência de gestão

centralizada coloca o desafio da orquestração, no qual a plataformização e a regionalização surgem como mecanismos complementares de integração de recursos, configurando uma arquitetura híbrida discutida a seguir.

2.2.1 O ecossistema "*phygital*": dinâmicas de plataforma e fronteiras territoriais

A plataformização consolidou-se como um vetor para a orquestração de ecossistemas, facilitando o acesso a estruturas organizacionais complexas e acelerando a produção de inovação (Van Dijck; Poell; De Waal, 2018; Barns, 2019; Ceccagnoli *et al.*, 2012; Schmalensee, Evans, 2007; Gawer; Cusumano, 2002; 2014). Definidas como arquiteturas digitais evolutivas, as plataformas permitem a emergência de novas estruturas socioeconômicas e a cooperação estratégica entre complementadores, reconfigurando mercados e relações de trabalho (Gawer; Cusumano, 2002; Isckia; Lescop, 2013; 2015; Tiwana, 2013; Couldry; Hepp, 2018; Srnicek, 2017; Boudreau; Jeppesen, 2015).

Esse fenômeno torna-se onipresente ao interconectar cadeias de valor e oferecer acesso a um inventário virtualmente ilimitado de recursos (Kenney *et al.*, 2019; Van Dijck *et al.*, 2018; Casilli; Posada, 2019; Baldwin, 2009; 2000; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018). Ao funcionarem como interfaces entre organizações e mercados, as plataformas exercem forte poder de atração, otimizando transações, diversificando riscos e gerenciando fluxos de conhecimento (Ceccagnoli *et al.*, 2012; Adner, 2017; Autio; Thomas, 2014; Nambisan; Sawhney, 2011; Makadok; Coff, 2009; Williamson, 1975). Assim, os EIs extraem vantagens competitivas substanciais ao integrarem tais estruturas para sustentar propostas de valor inter-relacionadas (Gulati; Puranam; Tushman, 2012; Kapoor, 2018; Iansiti; Levien, 2004; Nambisan; Zahra; Luo, 2019; Pushpanathan; Elmquist, 2022).

Entretanto, a ascensão do digital não suprime a relevância do espaço físico, ao passo em que o território oferece a descentralização necessária para a diferenciação estratégica e a criação de riqueza a longo prazo, sendo uma dimensão analítica para compreender a competitividade de uma nação a partir de suas idiossincrasias (Gibb, 1993; Wolfe, 1998; Verheul *et al.*, 2009; Fritsch; Mueller, 2004; Mueller; Van Stel; Storey, 2008).

A eficácia inovativa reside, portanto, na diversidade dos componentes regionais — como o acesso a fornecedores especializados e parcerias estratégicas — que fomentam mudanças tecnológicas dinâmicas (Hagedoorn *et al.*, 2018; Bahlmann, 2014; Piening *et al.*, 2016; Wuyts; Dutta, 2014). Sob esta ótica, a presente pesquisa adota a escala regional para compreender a convergência entre o espaço físico e a infraestrutura digital, configurando o que se denomina ecossistema "*phygital*". Dada a complexidade dessa sobreposição, torna-se

imperativo compreender como a plataformização pode potencializar os ativos territoriais, superando a visão puramente geográfica para uma análise baseada em fluxos.

2.2.2 Fronteiras, fluxos e tipologias: como identificar e delimitar um ecossistema vivo?

Diante da natureza difusa das fronteiras em ecossistemas modernos, a literatura sistematizou a identificação e delimitação dos EIs sob três perspectivas: (i) o fluxo de materiais e energia; (ii) o fluxo de conhecimento; e (iii) o fluxo de valor (Aarikka-Stenroos; Ritala; Thomas, 2021).

O primeiro enfoque concentra-se na sustentabilidade e eficiência física, contemplando ecossistemas industriais e urbanos onde a lógica predominante é a simbiose, a circularidade e a integração de infraestruturas (Aarikka-Stenroos; Ritala; Thomas, 2021; Ingstrup; Aarikka-Stenroos; Adlin, 2021; Hess, 2010; Korhonen, 2001; Lowe; Evans, 1995; Morris; Weissburg; Bras, 2018). Nesses ambientes, como nas cidades inteligentes, as relações entre os participantes e o ambiente construído são caracterizadas pela não hierarquia e pela busca de equilíbrio energético (Decker *et al.*, 2000; Bai, 2016; Morris; Weissburg; Bras, 2018).

A segunda perspectiva desloca a análise para o fluxo de conhecimento, investigando como recursos locais catalisam a emergência de novos saberes e modelos de negócio (Cohen, 2006; Autio; Thomas, 2018; Thomas; Autio; Gann, 2022). Nesta categoria inserem-se os Ecossistemas de Conhecimento, fundamentados na colaboração para P&D entre universidades, institutos públicos e o setor empresarial (Von Hippel, 2007; van der Borgh *et al.*, 2012; Clarysse *et al.*, 2014; Valkokari, 2015; Järvi *et al.*, 2018).

Já a terceira vertente debruça-se sobre o fluxo de valor, onde a articulação de recursos resulta efetivamente em inovações de mercado (Aarikka-Stenroos, 2021). Sob essa ótica, analisam-se Ecossistemas de Negócios e de Plataforma, frequentemente estruturados em torno de uma firma focal ou de dependências tecnológicas que conectam componentes e complementadores (Adner; Kapoor, 2010; Adner, 2017; Hannah; Eisenhardt, 2018; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018). Esses ambientes enfatizam a interconectividade global e os efeitos de rede, provendo acesso a mercados independentemente da localização física (Cusumano, 2008; Ceccagnoli *et al.*, 2012; Thomas *et al.*, 2014; McIntyre; Srinivasan, 2017).

Adicionalmente aos fluxos, a lógica espacial permanece como um delimitador relevante, variando desde ecossistemas baseados em cidades até escalas regionais, nacionais e globais (Oh *et al.*, 2016; Pombo-Juárez *et al.*, 2017; Mazzucato; Robinson, 2018). Tais sistemas podem operar estritamente no ambiente digital ou sob uma configuração híbrida (De Vasconcelos Gomes *et al.*, 2018).

Para os fins desta pesquisa, a premissa é que a efetivação da proposta de valor de ERIs não depende de um único fluxo, mas da atuação conjunta e orquestrada de uma diversidade de atores. Portanto, a compreensão detalhada da anatomia desses agentes e da estrutura de governança que os une torna-se relevante para o mapeamento estratégico dos ERIs.

2.2.3 Tipologia dos agentes: a hélice quádrupla e o papel da orquestração

Diferente de aglomerações orgânicas, os EIs demandam agentes que os operacionalizem com intencionalidade (Appio *et al.*, 2019). A inovação, nesse contexto, difunde-se por meio de sistemas sociais complexos, onde a heterogeneidade dos atores é, paradoxalmente, a fonte criativa e a causa de conflitos de governança (Rogers, 1962; De Bruijn; Heuvelhof, 2008; Dhanaraj; Parkhe, 2006; Gilsing *et al.*, 2008).

Para organizar essa complexidade, a literatura consolida o modelo da Hélice Quádrupla, que categoriza os participantes em esferas institucionais interdependentes, cada qual exercendo papéis e especialidades (Korhonen, 2001; Autio *et al.*, 2018; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018), a saber: i) Indústria: focada na exploração comercial e ganho econômico, englobando desde fabricantes e fornecedores até empreendedores e capital de risco (Lowe; Evans, 1995; Hess, 2010; Feld, 2020; Thomas; Autio; Gann, 2014); ii) Academia: responsável pela geração de conhecimento, representada por universidades e institutos de pesquisa que atuam como celeiros de talento e tecnologia (Van der Borgh; Cloudt; Romme, 2012; Clarysse *et al.*, 2014; Järvi *et al.*, 2018); iii) Governo: atuando como regulador e fomentador, provendo o aparato institucional, normativo e, frequentemente, o financiamento estruturante (Teece, 2007; Autio *et al.*, 2014; Mäkinen; Dedehayir; Ortt, 2018; Chesbrough, 2003; 2017); iv) Sociedade Civil: incluindo consumidores e usuários que validam a inovação e demandam soluções, completando o ciclo de valor (Autio; Thomas, 2014; Bai, 2016; Morris; Weissburg; Bras, 2018).

Tal configuração gera uma rede de interdependências que se manifestam em níveis tecnológicos, econômicos e cognitivos (Decker *et al.*, 2000; Thornton; Ocasio, 1999). Contudo, a presença desses atores não parece garantir o desempenho do ecossistema. A ausência de uma hierarquia formal exige a figura de um ator focal — geralmente denominado orquestrador (Iansiti; Levien, 2004; Leten *et al.*, 2013; Adner, 2017). O seu papel é o de gerenciar as tensões entre as hélices, persuadindo os participantes a fornecerem contribuições voluntárias alinhadas à proposta de valor coletiva (Dhanaraj; Parkhe, 2006; Nambisan; Sawhney, 2011; Autio; Thomas, 2021). A orquestração eficaz, assim, molda a adoção de papéis complementares pelos parceiros, garantindo que o comportamento individual gere benefícios sistêmicos (Batterink *et al.*, 2010; Iansiti; Levien, 2004; Mason; Brown, 2014).

Em suma, o ecossistema é um palco onde atores da Hélice Quádrupla coatuam sob a regência de uma orquestração estratégica. Estabelecida a compreensão de quem são os agentes, torna-se necessário aprofundar a análise sobre o que eles fazem e como interagem para transformar ativos isolados em valor sistêmico.

2.2.4 A dinâmica de valor: interações, papéis e governança

A prosperidade de um EI reside na convergência ativa de parceiros que aportam competências complementares ao território (Adner, 2017; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018). Essa pluralidade eleva a complexidade ambiental, visto que cada agente opera sob lógicas e objetivos distintos — a ciência busca o saber, a empresa busca o lucro e o governo busca o bem-estar (Batterink *et al.*, 2010). Conseqüentemente, a interação para criação e captura de valor torna-se uma tarefa inerentemente desafiadora, deslocando-se para fronteiras fluidas onde um mesmo ator pode alternar entre os papéis (Gilsing *et al.*, 2008; Håkansson; Ford, 2002; Pittaway *et al.*, 2004; Kandiah; Gossain, 1998; Gobble, 2014).

Para que essa complexidade não resulte em caos, a figura do orquestrador assume centralidade operacional (Cusumano; Gawer, 2002; Dhanaraj; Parkhe, 2006). Este agente deve modelar a arquitetura do ecossistema, identificando sinergias e estabelecendo estratégias que superem relações meramente transacionais (Normann; Ramirez, 1993; Iansiti; Levien, 2004a). Cabe à orquestração definir metas sistêmicas, diferenciar papéis hierárquicos e prospectar parceiros, garantindo que o compartilhamento de valor seja atrativo o suficiente para manter os membros engajados (Gulati, Wohlgezogen, Zhelyazkov, 2012; Adner, 2017; Teece, 2016;).

Nessa arquitetura orquestrada, o Governo exerce uma função multifacetada e estruturante (Wei, 2022). Sua atuação se desdobra em quatro eixos: i) catalisador, fomentando capital humano e novos empreendimentos (Joshi *et al.*, 2018); ii) coordenador, direcionando políticas de inovação (Lanahan; Joshi; Johnson, 2021); iii) certificador, validando a produção inovadora (Lanahan; Armanios; Joshi, 2021); e iv) cliente, garantindo demanda para as soluções geradas (Hemmatian *et al.*, 2021).

Simultaneamente, no pilar do conhecimento, as Universidades e Instituições de Ensino atuam como garantidoras do fluxo de aprendizagem e da qualificação técnica (Grobbelaar, 2018). Sua interação com o mercado profissionaliza a inovação e diversifica instrumentos de investimento, muitas vezes cocriando tecnologias (Leten *et al.*, 2013; Gifford *et al.*, 2021). Esse arranjo é sustentado por entidades de apoio — instituições financeiras e organizações sem fins lucrativos — que aportam capital financeiro e suporte estrutural para mitigar os riscos da atividade inovadora (Camboim *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2021).

Portanto, a dinâmica de valor de um EI depende do equilíbrio entre os interesses individuais e os objetivos coletivos. Se o comportamento de um único ator divergir da proposta central, o desempenho global do sistema é impactado (Mason; Brown, 2014; Mack; Mayer, 2016). Contudo, a otimização dessas interações internas, por si só, não assegura a perenidade do ecossistema. Dada a complexidade da inovação global, nenhum território detém o monopólio de recursos. Assim, a vitalidade do sistema depende de sua capacidade de conectar-se com o exterior, tema que será abordado a seguir.

2.2.5 Porosidade e transbordamento: a coesão interna e as conexões globais

A colaboração transregional torna-se imperativa para enfrentar a crescente complexidade do conhecimento moderno (Wuchty *et al.*, 2007). Ao passo que a inovação radical raramente reside inteiramente dentro de uma única região, a integração de conhecimentos complementares externos é vital (Frenken e Boschma, 2007; Boschma e Frenken, 2011). Contudo, essa abertura para o global não diminui a importância do local. Pelo contrário, a compreensão do lugar revela os motivadores intrínsecos do engajamento (Burke, 2023; Cresswell, 2004), pois é onde a confiança se estabelece (Ostrom, 2010), criando um ambiente seguro para se assumir os riscos da inovação (Huggins; Thompson, 2015).

Contrariando a visão de silos fechados, os ecossistemas manifestam uma profunda interdependência sistêmica e porosidade (Sarma; Sunny, 2017; Thomas; Sharapov; Autio, 2018; Thomas; Autio, 2022). É frequente que um EI se desenvolva sobre as bases de um ecossistema empreendedor preexistente, ou que conhecimentos gerados em um ambiente de negócios transbordem para alimentar frentes tecnológicas distintas (Aarikka-Stenroos *et al.*, 2021). Essa sobreposição exige clareza conceitual para governar as fronteiras fluidas onde ocorrem essas trocas.

A capacidade de um ecossistema se manter coeso enquanto interage com o exterior depende da robustez das interdependências introduzidas anteriormente. A interdependência tecnológica atua como uma linguagem comum (padrões e plataformas) que permite a conexão com redes globais (Adner, 2012; Autio *et al.*, 2018; Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018). A interdependência econômica garante que, mesmo buscando escala global, o valor seja capturado e retido localmente através de cadeias de suprimento complementares (Davis; North, 1970; Thomas; Autio; Gann, 2014). Por fim, a interdependência cognitiva — baseada em crenças e valores compartilhados — funciona como a "cola social" que mantém a identidade do ecossistema, permitindo que atores locais confiem uns nos outros mesmo quando colaboram com agentes externos desconhecidos (Thornton; Ocasio, 1999; Thomas; Autio, 2022).

Portanto, a gestão eficaz de um EI reside na habilidade de balancear essa tensão: fortalecer as raízes locais (identidade e confiança) enquanto estende seus ramos para além da fronteira territorial (acesso a novos conhecimentos e mercados). É necessário garantir que a proposta de valor coletiva satisfaça as demandas regionais, mas que a arquitetura do sistema permaneça aberta o suficiente para a evolução contínua. Essa tensão entre a necessidade de abertura (porosidade) e a necessidade de coesão interna impõe o desafio final desta revisão teórica: como governar um sistema que, por definição, não possui um dono? A resposta reside na distinção entre controlar e orquestrar, conforme discutido a seguir.

2.2.6 A arte da governança: da orquestração à coreografia

A coexistência de objetivos comuns e conflitantes nos EIs exige formas de coordenação capazes de equilibrar tensões entre atores interdependentes (Ghazawneh; Henfridsson, 2013). Nesse contexto, a literatura recente tem discutido modelos de governança voltados à colaboração em redes, distintos das estruturas corporativas tradicionais (Möller; Halinen, 2017; Lumineau; Oliveira, 2018).

As abordagens de gestão variam conforme o *design* e a maturidade do sistema. Estruturas iniciais frequentemente focam na mitigação de riscos (Adner, 2006) e no desenho da inovação (Dhanaraj; Parkhe, 2006; Nambisan; Sawhney, 2011), enquanto estágios mais avançados priorizam a confiança e a comunicação (Rampersad *et al.*, 2010), a intervenção consciente no ciclo de vida do EI (Ansell; Torfing, 2021) ou o alinhamento de objetivos corporativos (Botero Marin, 2012).

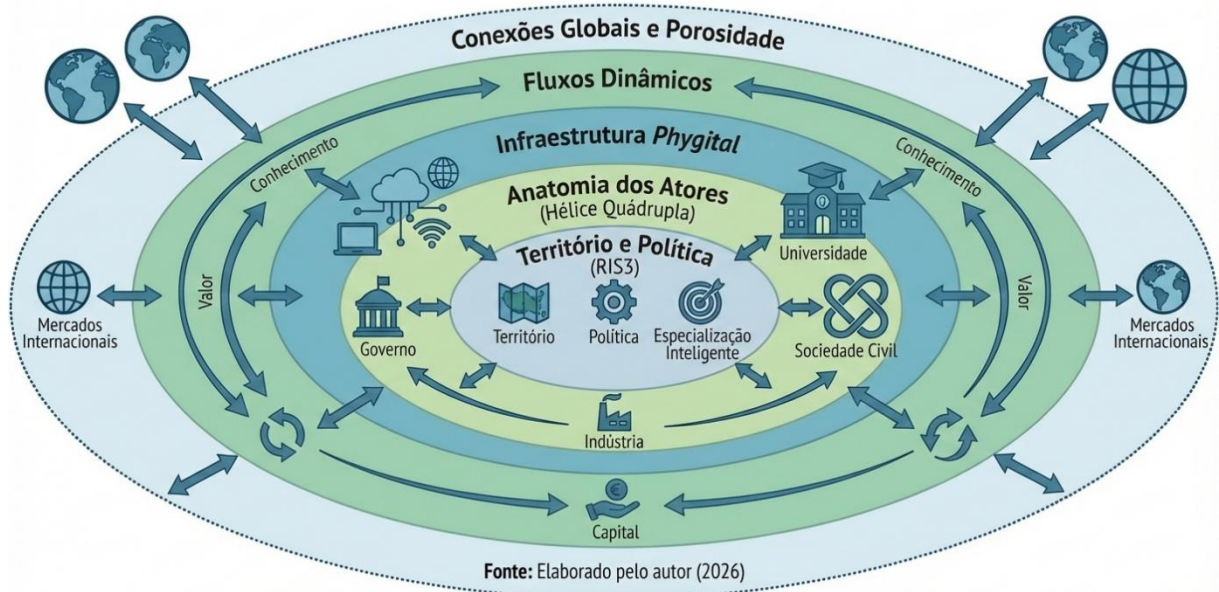
No espectro da governança, distinguem-se duas lógicas: i) Cima para baixo: utiliza mecanismos de controle rigorosos e é frequentemente induzida por políticas ou atores centrais (Grobbelaar, 2018). É recomendada para mitigar riscos de colaboração descontrolada, comportamentos oportunistas ou incertezas de mercado (Cobben; Roijakkers, 2019; Autio, 2021; Arena *et al.*, 2022); ii) Baixo para cima: baseia-se na auto-organização e na gestão descentralizada (Camboim *et al.*, 2019; Duarte *et al.*, 2021; Gifford *et al.*, 2021). Essa lógica favorece a resiliência, a confiança e o aprendizado por meio de diálogos multilaterais (Autio, 2021; Arena *et al.*, 2022; Kinder *et al.*, 2022).

A discussão sobre governança em ecossistemas levou à distinção entre orquestração e coordenação descentralizada. A orquestração refere-se ao papel de atores que estruturam a arquitetura de interações sem exercer autoridade hierárquica formal (Dhanaraj; Parkhe, 2006; Nambisan; Sawhney, 2011). Já a coordenação descentralizada, descrita como coreografia, emerge da conectividade entre os próprios atores do ecossistema (Ferraro; Iovanella, 2015).

Apesar do avanço conceitual, ainda há limitada evidência empírica sobre quais características de governança efetivamente favorecem a inovação nesses contextos (Van Gestel; Grotenbreg, 2021a, 2021b).

Para sintetizar os aspectos teóricos discutidos ao longo deste capítulo, elaborou-se a Figura 2, que busca representar os ERIs, seus atores e fluxos de geração e captura de valor.

Figura 2 - Framework conceitual do Ecosistema Regional de Inovação



Fonte: elaborado pelo autor com base na revisão da literatura (2026).

A transição da modelagem conceitual para a prática de gestão exige superar a abstração e enfrentar os desafios metodológicos da quantificação de resultados. Neste contexto, a seção a seguir discute como traduzir a complexidade dinâmica dos ERIs em indicadores tangíveis.

2.3 O dilema da mensuração: novas abordagens de desempenho

Historicamente, a mensuração de desempenho dos EIs tem se restringido a recortes unidimensionais, focando estritamente no nível de atividade tecnológica (Mercan; Göktaş, 2016), no retorno econômico (Autio; Thomas, 2014) ou no posicionamento estratégico (Wu *et al.*, 2018). No entanto, a literatura contemporânea propõe uma mudança de paradigma, defendendo que a avaliação adote a ótica da capacidade sistêmica. Sob essa nova perspectiva, o foco recai sobre a habilidade do ecossistema em manter um ambiente favorável a inovações contínuas e que, sobretudo, respondam aos desafios complexos da sociedade. Trata-se de equilibrar a eficiência produtiva com a direcionalidade da inovação — ou seja, assegurar que o valor criado solucione as demandas reais do território (Mazzucato, 2021). Essa transição

analítica evidencia uma dicotomia estrutural que rege os ecossistemas: a constante tensão entre a capacidade de criação coletiva e a capacidade de apropriação de valor por parte de seus atores (Adner; Kapoor, 2016; Mazzucato, Robinson, 2018; Pidun *et al.*, 2021).

A adição de valor resulta das contribuições individuais de cada ator (Rothaermel, 2001; Autio; Thomas, 2014). Ela constitui o lado da oferta, operacionalizando a proposta de valor do ecossistema (Nambisan; Sawhney, 2011). Algumas adições são complementares e essenciais (Jacobides; Cennamo; Gawer, 2018), enquanto outras aumentam o valor percebido sem serem obrigatórias (Gawer; Cusumano, 2002). Por outro lado, a captura de valor refere-se à apropriação de benefícios (Teece, 1986). Ela mensura quanto do valor gerado coletivamente é retido por um agente específico, motivando sua permanência no sistema (Lepak *et al.*, 2007). Para a estabilidade do EI, a captura deve ser percebida como justa e gerar transbordamentos positivos para a região (Iansiti; Levien, 2004; Mazzucato, Robinson, 2018).

Diante dessa complexidade, a literatura reforça a urgência de métricas que deem conta das múltiplas dimensões do EI (Gomes *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2016; Carayannis *et al.*, 2018b). Contudo, o processo de coleta, armazenamento e comunicação desses dados é repleto de obstáculos (La Rovere *et al.*, 2021). O desafio reside na necessidade de integrar diferentes bases de dados, compreender as nuances do território e trabalhar com resultados aproximados (Dijkers *et al.*, 2018; La Rovere *et al.*, 2021). Para uma análise precisa, é fundamental assegurar o uso de conjuntos de dados de alta fidelidade (Kuhlman, 2017).

Neste trabalho, procedeu-se ao levantamento dos principais indicadores discutidos na academia, visando fundamentar uma proposição de medição de desempenho que seja adequada às particularidades dos ERIs.

2.3.1 Do abstrato ao tangível: o painel de controle da inovação regional

Para compreender o desempenho de um EI, deve-se selecionar indicadores que comuniquem eficientemente o estado do fenômeno observado (Mueller *et al.*, 1997). Tais indicadores devem ser modelos simplificados da realidade, dotados de lógica estatística coerente (Mitchell, 1996; Siche, 2007) e capazes de sinalizar o progresso em direção a metas específicas (Van Bellen, 2005; Magalhães Júnior, 2007).

A literatura demonstra que a multidimensionalidade dos EIs exige a adoção de métricas híbridas e complementares (Gomes *et al.*, 2016; Oh *et al.*, 2016; Carayannis *et al.*, 2018b). Para tangibilizar essa complexidade, variadas abordagens têm sido propostas visando sistematizar indicadores no cenário internacional (Iansiti; Levien, 2004; Auerswald; Dani, 2017; Nicotra *et al.*, 2018; Stam, 2018; Shipilov; Gawer, 2020; Pidun *et al.*, 2021; Cobben *et al.*, 2023).

Contudo, a calibração e a transposição desses modelos para as idiosincrasias do contexto brasileiro ainda carecem de exploração empírica aprofundada, destacando-se, como rara exceção, os esforços de La Rovere *et al.* (2021). Ademais, a fronteira teórica atual adverte que um painel de controle regional não deve se limitar a fotografias estáticas de desempenho financeiro ou tecnológico; ele precisa capturar a dinâmica de sobrevivência ecossistêmica a longo prazo (Dijkers *et al.*, 2018; Pidun *et al.*, 2021). Isso implica monitorar continuamente os requisitos para o sucesso sistêmico (Adner; Kapoor, 2015; Granstrand; Holgersson, 2020) e a eficiência estrutural dos atores intermediários, que funcionam como o verdadeiro tecido conectivo das redes de inovação local (Sapsed *et al.*, 2007).

Com base nessa fundamentação (Isenberg, 2010; Mason; Brown, 2014; Stam; Spigel, 2016; Hajek; Henriques, 2017; Cobben *et al.*, 2023), os indicadores foram agrupados em quatro dimensões analíticas:

I. Facilitadores de Valor

Instrumentos cuja disponibilidade explica o sucesso ou insucesso do EI (Hajek; Henriques, 2017), baseados em suporte, capital humano e antecedentes relacionais (Isenberg, 2011; Cobben *et al.*, 2023):

- i. **Inovação em Recursos Humanos:** mais do que a simples acumulação de diplomas, esta dimensão reflete a "inteligência regional" latente e a capacidade de absorção de conhecimento do ecossistema (Sleuwaegen; Boiardi, 2014; Tavassoli; Carbonara, 2014; Kovanova *et al.*, 2020). A densidade de uma força de trabalho altamente qualificada (Rodríguez-Pose, 2008) atua como o filtro cognitivo que permite ao território descodificar, assimilar e comercializar tecnologias externas. Para operacionalizar a mensuração deste constructo, o modelo mobiliza variáveis que capturam o dinamismo das redes de colaboração universidade-empresa (Mercan; Göktaş, 2011) e a taxa de profissionais técnico-científicos ativos. Tais indicadores não medem apenas o estoque de conhecimento, mas a capacidade do território em converter o capital humano em valor econômico e inovação tangível.
- ii. **Acesso a TICs e Infraestrutura Física:** esta dimensão avalia a eficiência estrutural do território na viabilização dos fluxos de dados e na mobilidade do capital humano, fatores determinantes para a absorção e integração de fontes de conhecimento globais ao ecossistema local (Sleuwaegen; Boiardi, 2014). A infraestrutura atua como redutora do "atrito espacial", facilitando as interações em rede. Para operacionalizar a mensuração deste constructo, adota-se a densidade de banda larga, que captura a conectividade digital e o potencial de transbordamentos

informativos (Hajek *et al.*, 2014); e a densidade rodoviária, que mensura a acessibilidade logística e a facilidade de deslocamento para a troca de conhecimento tácito (Crescenzi; Rodríguez-Pose, 2012).

- iii. **Infraestrutura de Inovação:** refere-se à presença e densidade de ambientes promotores de inovação — tais como parques tecnológicos, incubadoras, aceleradoras corporativas e Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs). Sob a ótica do modelo da Hélice Tríplice (Etzkowitz; Leydesdorff, 2000), essas estruturas funcionam como "espaços de consenso" e plataformas físicas que materializam a intersecção entre academia, mercado e Estado. Autores como Phan, Siegel e Wright (2005) e Pauwels *et al.* (2016) demonstram que tais mecanismos são essenciais para mitigar a mortalidade de *startups* e acelerar a escalabilidade de modelos de negócios. No contexto institucional brasileiro, destacam-se os NITs, que atuam como pontes de transação, reduzindo os atritos burocráticos e conectando a base de conhecimento científico diretamente às necessidades de P&D do setor produtivo local (Torkomian, 2009).
- iv. **Densidade e Complexidade da Rede:** esta dimensão avalia a morfologia estrutural e a sofisticação produtiva do ecossistema. A densidade mensura a massa crítica e a concentração espacial de atores (Auerswald; Dani, 2017), condição *sine qua non* para o surgimento de economias de aglomeração e transbordamentos de conhecimento. Em complementaridade, a complexidade da rede é operacionalizada pela sua diversidade setorial — capturada pelo Índice de Entropia. Essa heterogeneidade produtiva atua como um mecanismo de amortecimento: ela pulveriza os riscos, conferindo resiliência ao EI e tornando-o substancialmente menos vulnerável a choques macroeconômicos exógenos (Lappi *et al.*, 2017). Em última análise, é esta diversidade interconectada que impulsiona a Complexidade Econômica regional (Alencar, 2018), permitindo que o território recombine capacidades latentes para gerar tecnologias de maior valor agregado.

II. Suportadores de Valor

Elementos que garantem a constância da inovação ao remover barreiras estruturais (Isenberg, 2011; Hajek; Henriques, 2017; Cobben *et al.*, 2023):

- i. **Barreiras Tecnológicas:** avalia o esforço consolidado em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) pelos setores público e privado (Fritsch; Meschede, 2001; Buesa *et al.*, 2010; Navarro *et al.*, 2012), bem como o nível de maturidade e experiência industrial dos atores locais (Van Beers; Zand, 2014). Ela capta a

capacidade do território em fornecer a base material e empírica para a prototipagem de soluções.

- ii. **Barreiras Financeiras:** acesso a capital para continuidade e expansão (Kerr; Nanda, 2015), essencial em economias em desenvolvimento (Aghion; Howitt, 2009). Mensura a liquidez do ecossistema e o acesso a capital de risco, englobando desde a captação de recursos via editais governamentais até soluções de financiamento estruturado (Roundy *et al.*, 2018).
- iii. **Barreiras de Base Legal:** a apta a qualidade da governança local e a eficácia das políticas públicas adaptadas às peculiaridades do território (Bramwell *et al.*, 2019; Uyarra; Flanagan, 2016). É operacionalizada pela capacidade de gestão pública e pela presença de serviços avançados, como especialistas jurídicos, que garantem a segurança institucional do ecossistema (Isenberg, 2010).

III. Inovação Realizada

Esta dimensão reúne as métricas de desempenho tecnológico direto, atestando a capacidade tangível do território em gerar, codificar e apropriar-se do valor inovativo (Adner; Kapoor, 2015; Dedehayir; Makinen, 2015; Lappi *et al.*, 2017):

- i. **Patentes e Conhecimento:** reflete o rendimento formal dos esforços em P&D (Tidd; Bessant, 2018). Esta métrica avalia o volume de publicações científicas, a taxa de transferência de tecnologia (Khan *et al.*, 2019) e o patenteamento, servindo como *proxy* para o conhecimento de fronteira legalmente protegido.
- ii. **Produtos e Valor Capturado:** mensura a eficácia com que o conhecimento codificado é traduzido em vantagem competitiva comercial. O constructo abrange a complexidade dos novos produtos lançados (Kleinknecht *et al.*, 2002), o Retorno Sobre o Investimento (ROI) (Graca; Camarinha-Matos, 2017), a taxa de crescimento e lucro das empresas (Mhamdia, 2013; Auerswald; Dani, 2017), bem como a intensidade das exportações tecnológicas do município.

IV. Resultados da Proposta de Valor do Ecossistema

Nesta última etapa, o modelo rompe com a visão estritamente produtivista e adota a ontologia das Políticas de Inovação Orientadas por Missão (Mazzucato, 2011; 2018; 2021). Sob este paradigma, o sucesso de um ecossistema não se esgota no volume de tecnologias geradas (*outputs*), mas na sua efetiva capacidade de moldar mercados e resolver desafios complexos da sociedade (*outcomes*). A avaliação divide-se em três eixos de impacto:

- i. **Efeitos Econômicos (Dinâmica de Mercado):** captura a transformação estrutural da economia local, evidenciada pela geração de emprego de alta complexidade

tecnológica, pelo crescimento real do PIB e pelo adensamento da atividade empreendedora — aferida pelo saldo demográfico de empresas (aberturas e encerramentos) e pela vitalidade das *startups* (Lundvall, 2007; Stam, 2018).

- ii. **Efeitos Sociais (Inclusão e Bem-Estar):** avalia se a riqueza gerada pela inovação está sendo convertida em qualidade de vida (Nikulina; Khomenko, 2015). Monitora-se a relação entre inovação, saúde, educação da força de trabalho e retenção de talentos (migração líquida), validando o transbordamento social do conhecimento (Mikhaylova *et al.*, 2019; Mazzucato, Robinson, 2018).
- iii. **Efeitos Ambientais (Sustentabilidade como Direção):** em consonância com a urgência climática, a sustentabilidade deixa de ser uma externalidade para se tornar um vetor de competitividade (Kao, 2007; Oksanen; Hautamäki, 2015). Apoiando-se no componente ambiental do IPS (Índice de Progresso Social), esta dimensão avalia se o ecossistema está promovendo soluções "verdes" e gerenciando seus impactos, configurando o que Mazzucato (2021) define como crescimento direcionado à sustentabilidade.

A sistematização das quatro dimensões consolida o arcabouço teórico necessário para a compreensão da complexidade dos ERIs, em que a definição dos indicadores representa apenas a etapa conceitual; sua instrumentalização depende da identificação de fontes de dados dotadas de fidedignidade, granularidade e periodicidade adequadas, detalhado a seguir.

2.3.2 Inteligência de Ecossistemas: monitoramento e evidência baseada em dados

A complexidade dos EIs exige uma transição dos modelos tradicionais de avaliação estática para sistemas de Inteligência de Ecossistemas. A utilidade dos dados públicos, potencializada por técnicas de *Big Data Analytics*, tem sido demonstrada em plataformas que buscam reduzir a assimetria de informação entre pesquisadores, gestores e sociedade (La Rovere *et al.*, 2021; Andrews *et al.*, 2022; Johnson *et al.*, 2022). No Rio Grande do Sul, o Observatório da Inovação RS ilustra esse esforço. Contudo, a fronteira do conhecimento aponta para a necessidade de ir além da visualização descritiva, incorporando métodos computacionais — quantitativos e qualitativos — para capturar a dinâmica evolutiva dos territórios (Auerswald; Dani, 2022; Hannigan *et al.*, 2022; Kuebart, 2022).

Embora existam diversas ferramentas para análise de EIs (Iizuka; Hollanders *et al.*, 2016; Martinez-Consessa *et al.*, 2017), muitas sofrem a crítica de focar em aspectos isolados, negligenciando a natureza interconectada do sistema (De Reuver *et al.*, 2018; Misra; Wilson, 2023). Isso demanda o desenvolvimento de soluções que simplifiquem a comparação de

indicadores entre diferentes localidades para subsidiar a tomada de decisão (Smith, 2016; Misra; Wilson, 2023).

Para operacionalizar o modelo proposto, desenhou-se uma arquitetura de dados que avalia as fontes pela frequência de atualização, granularidade e potencial de interoperabilidade com capacidade de capturar o contexto local (Johnson *et al.*, 2022). Contudo, a dependência de múltiplas fontes dispersas exige que o pesquisador assegure a imparcialidade e a fidelidade técnica dos dados (Echeverri-Carroll; Feldman, 2019; Misra; Wilson, 2023). Para operacionalizar o modelo proposto, mapearam-se as seguintes fontes:

I. Conhecimento, Educação e Capital Humano: para compreender a produção científica regional, destacam-se a Plataforma Lattes e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDBTD), que permitem mapear redes de cooperação universidade-empresa (Urti, 2017). O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) complementa esta dimensão com indicadores sobre o ensino superior, educação básica e níveis socioeconômicos.

II. Inovação e Propriedade Intelectual: o monitoramento da inovação utiliza dados do MCTI, IBGE, Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (PINTEC) e Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Na PINTEC verifica-se a ocupação de pós-graduados em P&D, exigindo cautela devido à sua defasagem temporal (Urti, 2017). O INPI fornece a base para patentes, enquanto o mapeamento de Empresas de Alto Crescimento (EAC) do IBGE dimensiona a evolução do setor produtivo. Adicionalmente, dados da Anprotec/MCTI e de redes regionais de Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs) fornecem informações sobre incubadoras, parques tecnológicos e escritórios de transferência de tecnologia.

III. Financiamento e Dinâmica de Investimento: investimentos em inovação podem ser rastreados via portais de transparência do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), além das Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs) estaduais. O relatório de Estatísticas Bancária Mensal por Município (ESTBAN), do Banco Central, oferece uma visão do volume de financiamento bancário por município (Dalle *et al.*, 2017).

IV. Infraestrutura, Complexidade Econômica e Gestão: para mercado de trabalho e estabelecimentos, a RAIS/CAGED fornece os dados necessários para o cálculo da entropia setorial e a identificação de empregos de nível superior; para comunicação e comércio exterior, a Anatel provê dados de banda larga e cobertura, enquanto o IPEA e o Comex Stat (MDIC) detalham fluxos de exportação, importação e indicadores de crédito municipal; por fim, para

ambiente legal e gestão pública, o Mapa de Empresas monitora a dinâmica de abertura e fechamento de negócios. A agilidade da gestão é aferida pelo Índice de Gestão Descentralizada Municipal (IGD-M) e pelos portais dos Tribunais de Contas (TCE/RS), que detalham a aplicação de recursos.

Em síntese, a integração dessas bases permite que o pesquisador disponha de um arcabouço relevante para a aplicação do modelo de mensuração de desempenho dos ERIs, conforme detalhado no Quadro 1. As respectivas bases citadas podem ser verificadas no Anexo A. A seção seguinte demonstra os procedimentos metodológicos aplicados para o desenvolvimento da pesquisa.

Quadro 1 - Estruturação do modelo para mensuração de desempenho de ERIs

(continua)

DIMENSÃO	ÍNDICE	INDICADOR	FONTES DE DADOS
FACILITADORES DE VALOR (D1) (Hajek, Henriques, 2017; Isenberg, 2011; Cobben et al., 2023)	Inovação em Recursos Humanos (Sleuwaegen e Boiardi, 2014; Kovanova, 2020; Baumann-Vitolina et al., 2019)	i) disponibilidade de uma força de trabalho altamente qualificada; ii) intensidade da colaboração entre universidade-indústria/empresa; iii) taxa de profissionais técnico-científicos; iv) percentual de investimento público em educação	i) INEP Data; ii) <i>WebScrapping + Named Entity Recognition</i> (NER); iv) TCE; v) CNPQ (Lattes Extrator); vi) BDTD; vii) RAIS
	Acesso à Tecnologia, Informação, Comunicação e Transporte (Sleuwaegen e Boiardi, 2014; Hajek, 2014; Crescenzi, 2012)	i) Densidade de acesso; densidade de cobertura; Densidade de banda larga fixa; Densidade telefonia móvel ii) Densidade da rede de transporte	i) ANATEL; ii) IBGE MALHA
	Acesso à infraestrutura de Inovação (Aranha, 2016; Observatório de Inovação)	i) Densidade de incubadoras de empresas, Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs), parques tecnológicos, Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs), aceleradoras, Centros de Inovação (CIs), e <i>coworkings</i>	i) MICT;
	Densidade da rede de atores (Auerswald e Dani, 2017; Mercan, Göktaş, 2011; Van Beers e Zand, 2014)	i) Concentração geográfica de empresas, fornecedores e instituições em um determinado setor	i) MAPA DE EMPRESAS; ii) IPEA
	Complexidade da rede de atores (Lappi et al., 2017; Auerswald e Dani, 2017; Vieira, 2013; Boschma e Iammarino, 2009; Castaldi et al., 2015; Frenken et al., 2007; Hausmann et al., 2013)	i) Taxa de Diversidade Econômica; ii) Taxa de Complexidade Econômica	i) MAPA DE EMPRESAS; ii) IPEA; iii) RAIS
SUPORTADORES DE VALOR (D2) (Isenberg, 2011; Cobben et al., 2023; Hajek, Henriques, 2017)	Quebradores de barrERias tecnológicas (Buesa et al., 2010; Fritsch, Meschede, 2001; Van Beers e Zand, 2014)	i) proporção da despesa pública em P&D em relação ao PIB; iii) percentual sob receita de investimentos de cada ator em P&D no período; iv) Nível de Experiência dos atores do ecossistema em sua indústria	i) FAPERGS; ii) FINEP;
	Quebradores de barrERias financERias (Kerr, Nanda, 2014; Nicholas, 2011; King, Levine, 1993; Schumpeter, Nichol, 1934; Aghion, Howitt, 2009; Roundy et al., 2018; Spigel, 2017; Isenberg, 2010)	i) acessibilidade (ROL de opções e custo das operações) à soluções financERias internas; ii) acessibilidade (ROL de opções e custo das operações) à soluções financERias externas; iii) volume de oportunidades de investimento governamentais iv) volume de oportunidades de editais v) taxa de transações de capital de risco na região	i) ESTBAN; ii) CRUNCHBASE; iii) FINEP; iv) TCE/RS
	Quebradores de barrERias de base legal (Bramwell et al., 2012; Bradley et al., 2013; Autio et al., 2018; Goswami et al., 2018; Spigel e Harrison, 2018; Thompson et al., 2018; Autio et al., 2014; Flanagan, Uyarra, 2016)	i) presença de pessoas especializadas da área jurídica na região; ii) taxa de instrução de gestão pública + Índice de Gestão Descentralizada dos Municípios	i) INEP; ii) IBGE AGREGADOS; iii) MDS; iv) STJ; v) TCE/RS

(continuação)

DIMENSÃO	INDICADOR	FONTES DE DADOS	DIMENSÃO
INOVAÇÃO REALIZADA (D3) (Adner e Kapoor, 2015; Dedehayir e Makinen, 2011; Jansen e Cusumano, 2012; Nambisan e Baron, 2013; Graça e Camarinha-Matos, 2017; Adner e Kapoor, 2015; Dedehayir e Makinen, 2011; Den Hartigh et al., 2006; Jansen e Cusumano, 2012; Iansiti, Levien, 2004; Lappi et al., 2017; Wang e Gong, 2017; Kuhlman, 2017; Doğruel e Ümit Firat 2021)	Patentes (Tidd e Bessant, 2018)	i) taxa de pedidos de patentes aprovados por mil habitantes	i) INPI; ii) PINTEC
	Conhecimento apropriado (Khan, Bhatti, Zaman e Hussain, 2019; Graça e Camarinha-Matos, 2017)	i) transferência de conhecimento e tecnologia dentro de instituições de pesquisa e/ou instituições de ensino superior; ii) capacidade do ator do ecossistema de integrar e aplicar conhecimento de organizações fora do ecossistema; iii) volume de publicações científicas no período	i) SciVal; ii) INTERNO, gerado pelos atores na plataforma
	Produtos/Serviços desenvolvidos (Reagans e Zuckerman, 2001; Kleinknecht et al., 2002; Santarelli, Piergiovanni, 1996; Alegre, Chiva, Lapiedra, 2005).	i) Proporção de serviços/produtos lançados ao mercado em relação ao portfólio de produtos/serviços no ano anterior	i) INTERNO, gerado pelos atores na plataforma
	Valor capturado (Graça e Camarinha-Matos, 2017; Mhamdia, 2013; Auerswald e Dani, 2017)	i) Retorno do investimento de capital no nível do ecossistema; ii) taxa de aumento do lucro do ator do ecossistema durante a participação; iii) taxa de crescimento anual do ator; iv) taxa de satisfação de cada ator; v) taxa de exportação de bens e serviços intensivos em tecnologia	i) INTERNO, gerado pelos atores na plataforma; ii) COMEXSTAT
RESULTADOS DA PROPOSTA DE VALOR DO ECOSISTEMA (D4) (Liu, Stephens, 2019; Hajek, Henriques, 2017; Carayannis, Campbell, 2010; IPS; Mazzucato, 2018; Liu, Stephens, 2019)	Efeitos econômicos (Carayannis, 2017; Lundval, 2007; Hajek, Henriques, 2017; Stam, 2018; IBGE, 2018; Nicotra et al., 2018; Tavassoli, Carbonara, 2014; La Rovere et al., 2021)	i) taxa de crescimento de geração de emprego; ii) taxa de crescimento do produto interno bruto; iii) nível de atividade empreendedora; iv) proporção de startups; v) taxa líquida entre o número de empresas abertas e empresas fechadas no período; vi) taxa de empresas gazelas	i) IPEA; ii) COMEX STAT; iii) ANPROTEC
	Efeitos sociais (Nikulina, Khomenko, 2015; Mikhaylova, Mikhaylova e Savchina, 2019; Auerswald e Dani, 2017; IPS)	i) a parcela da população em idade ativa e o nível de educação da população; ii) migração líquida de pessoas com idade economicamente ativa; iii) Componente Saúde e Bem-Estar	i) IEPS; ii) IPS; iii) IMERS; iv) ATLAS BRASIL
	Efeitos ambientais (IPS; IPS; Mazzucato, 2021)	i) Componente Qualidade do Meio Ambiente;	i) IPS

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3 A ARQUITETURA DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada e exploratória (Gil, 2008; Prodanov; Freitas, 2013), adotando métodos mistos para triangulação de dados (Creswell, 2010). A estratégia metodológica baseia-se na DSR, adequada à construção de artefatos voltados à solução de problemas em gestão e sistemas de informação (Hevner et al., 2004; Lacerda et al., 2013). O estudo incorpora técnicas de Ciência de Dados para a estruturação dos indicadores, cujo fluxo metodológico é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas da pesquisa

ETAPAS DSR	PROCEDIMENTOS REALIZADOS	RESULTADOS ESPERADOS
Conscientização	<ul style="list-style-type: none"> • Revisão sistemática da literatura; • Conversa com o Comitê Técnico MMLN (21/11/2024) para definição do escopo. 	Definição de requisitos junto ao Comitê Técnico (<i>Stakeholders</i>)
Sugestão	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção de variáveis e de bases de dados. • Aplicação de questionário (Likert) via <i>Google Forms</i> (Jun-Jul/25) com o Comitê Técnico 	Estrutura lógica do painel de indicadores (Modelo Teórico).
Desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • Iterações e ajustes no artefato 	Protótipo do sistema de indicadores
Avaliação	<ul style="list-style-type: none"> • Análises estatísticas e seleção de modelos 	Validação de conteúdo e aplicabilidade do artefato
Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> • Documentação da construção (Método) e do sistema final (Instanciação). 	Artefato consolidado, disponível para uso no Programa Inova/RS.

Fonte: elaborado pelos autores, adaptado de Vaishnavi e Kuechler (2021).

Espera-se que a partir destas etapas seja possível desenvolver a instanciação e o método.

3.1 O ambiente de pesquisa: a governança do Programa INOVA/RS

O Ambiente define o espaço do problema onde o artefato será inserido (Hevner *et al.*, 2004), em que, nesta pesquisa, é o Programa Inova/RS, o qual oferece o suporte necessário para a validação empírica a partir do seu Comitê Técnico, composto por 35 membros (Anexo B), assegurando-se a isenção necessária para a validação.

3.2 A engenharia da pesquisa: questionário de validação e dados abertos

Ao passo em que o processo de coleta de dados no DSR concentra-se em fontes objetivas e mecanismos que permitem a construção, teste e refinamento do artefato, o procedimento adotado dividiu-se em duas frentes:

I. Curadoria de dados secundários e mineração estrutural

Inicialmente, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) em bases indexadas (*Scopus* e *BDTD*), com o objetivo de identificar modelos consolidados de avaliação de EIs. Paralelamente, procedeu-se ao mapeamento de repositórios públicos nacionais — incluindo bases do IBGE, RAIS, Plataforma Lattes e INPI — visando a identificação de variáveis observáveis capazes de operacionalizar os constructos teóricos propostos. Os dados foram extraídos, harmonizados e organizados em um dicionário estruturado, garantindo rastreabilidade, replicabilidade e consistência semântica dos indicadores.

II. Coleta de dados primários e validação de conteúdo

A etapa subsequente consistiu na validação de face e conteúdo dos indicadores por meio de um instrumento estruturado em escala *Likert* de cinco pontos (Questionário de Validação), aplicado no período de junho a julho de 2025, contando com a resposta de $n=18$ especialistas integrantes do Comitê Técnico da MMLN – correspondendo a $\approx 51\%$. O objetivo foi avaliar a clareza, relevância e utilidade percebida das métricas propostas, assegurando aderência ao contexto territorial e adequação conceitual do artefato. O procedimento observou os princípios da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD, Lei nº 13.709/2018), garantindo anonimização das respostas e armazenamento seguro das informações em nuvem.

Dada a natureza exploratória e a configuração da amostra, focou-se na validação de conteúdo e consistência interna para garantir a pertinência dos itens (Lawshe, 1975; Lynn, 1986). O processo incluiu a caracterização descritiva da distribuição (Field, 2024) e a análise de correlação de *Spearman* (Corder e Foreman, 2009), interpretada segundo a escala de Cohen *et al.* (2013), enquanto a confiabilidade interna foi mensurada por meio do Alfa de Cronbach (Nunnally e Bernstein, 1994).

Para investigar diferenças de percepção, utilizou-se o teste de Friedman (Field, 2024; Siegel e Castellan, 2006). Identificadas diferenças significativas, aplicaram-se testes *post-hoc* de Wilcoxon (Conover, 1999) com correção de Taxa de Falsos Descobrimientos Benjamini-Hochberg (FDR-BH) para controle de erro tipo I (Demšar, 2006).

3.3 Modelagem e análise de dados: abordagem híbrida para validação teórica e preditiva

Para testar as hipóteses H1–H3, adotou-se uma estratégia híbrida que combinou métodos explicativos e técnicas preditivas de aprendizado de máquina, conforme recomendações recentes de integração entre PLS-SEM e algoritmos de machine learning (Richter *et al.*, 2023; Sharma *et al.*, 2023). Essa triangulação busca ampliar o poder explicativo e a precisão preditiva em contextos com amostras pequenas a moderadas e relações não lineares.

O processo foi implementado em Python 3.10+, com bibliotecas *open-source* e código reprodutível, organizado em três etapas:

Etapa 1 – Modelo de referência explicativo (PLS-SEM via *semopy*)

Inicialmente, estimou-se um modelo de equações estruturais via PLS-SEM com a biblioteca *semopy* (Igolkina; Meshcheryakov, 2020), escolhido por sua adequação a amostras moderadas ($n \approx 90$), por dispensar normalidade multivariada e por permitir a estimação conjunta dos modelos de mensuração e estrutural (Hair et al., 2019). Essa etapa teve como objetivos: i) testar as hipóteses H1, H2 e H3 sob relações lineares; ii) avaliar a qualidade das construções (AVE > 0,50; confiabilidade composta > 0,70; HTMT < 0,85; bootstrapping com 5.000 reamostragens); iii) gerar escores latentes padronizados das dimensões, utilizados nas etapas seguintes; e iv) estabelecer um *benchmark* explicativo alinhado à literatura da área (Hair et al., 2019; Richter et al., 2023). O ajuste do modelo foi verificado por métricas como R^2 ajustado (> 0,25), SRMR (< 0,08) e relevância preditiva via PLSpredict ($k=10$ folds, $Q^2 > 0$).

Etapa 2 – Benchmark via RandomForest

Como benchmark, foi treinado um modelo *Random Forest Regressor* (*scikit-learn* 1.x, $n_estimators=500$, $max_depth=12$, $min_samples_split=5$) utilizando os escores latentes do *semopy* como features. O *Random Forest* serve como: i) Contraponto não-linear e não-paramétrico à rede neural; ii) Ferramenta de interpretação via importância de variáveis (*permutation importance* e *Gini importance*); iii) Validação cruzada da robustez preditiva (comparação direta de *out-of-fold* R^2 e MAE com MLP e PLS-SEM).

Etapa 3 – Refinamento preditivo não-linear via Rede Neural (PyTorch)

Para validar as hipóteses teóricas e compor o índice de desempenho dos ERIs, a pesquisa utilizou Redes Neurais Artificiais implementadas em *PyTorch*, configuradas como um modelo estrutural profundo. Essa abordagem permite lidar com relações não lineares e com a alta variabilidade dos indicadores, capturando interações e efeitos de limiar que modelos lineares tendem a simplificar (Haykin, 2009; Henseler et al., 2014). O uso de funções de ativação não lineares possibilita identificar, por exemplo, níveis mínimos de maturidade institucional necessários para que investimentos em P&D gerem efeitos mais amplos no território.

A literatura aponta que a combinação entre a lógica da Modelagem de Equações Estruturais (SEM) e técnicas de inteligência artificial pode ampliar o poder preditivo dos modelos, ao associar coerência teórica e capacidade computacional (Ahani et al., 2017; Shmueli, 2010). A arquitetura adotada seguiu um processo de validação em três níveis:

I. Pré-processamento: Antecedendo a alimentação da rede, os dados foram submetidos à padronização (*Z-score*) e ao diagnóstico de multicolinearidade via *Variance Inflation Factor*

(VIF), garantindo que indicadores redundantes não inflassem artificialmente os pesos das camadas ocultas (Hair *et al.*, 2019).

II. Arquitetura Multi-Task Learning e Aprendizado de Representação

A construção do modelo de desempenho dos ERIs utilizou uma arquitetura de Aprendizado Multitarefa (MTL), com camadas compartilhadas para capturar representações territoriais e saídas específicas para as dimensões Econômica, Social, Ambiental e Sistêmica. Para reduzir a subjetividade na atribuição de pesos, adotou-se a Ponderação por Incerteza Homocedástica, em que os pesos são aprendidos pelo próprio modelo como parâmetros de log-variância (Kendall; Gal; Cipolla, 2017), atenuando o efeito de indicadores ruidosos e priorizando padrões mais estáveis (Goodfellow et al., 2016). A otimização foi realizada com o algoritmo Adam, por retropropagação ao longo de 1.000 épocas, com monitoramento da convergência, validação cruzada e análise de estabilidade para mitigar sobreajuste, considerando o número reduzido de municípios.

III. Explicabilidade e Validade Neural

A validação do modelo será obtida através da matriz de elasticidade. Ao aplicar variações incrementais de 1% nos *inputs* e mensurar a resposta vetorial nas saídas, o modelo traduz as complexas funções de ativação ReLU em coeficientes interpretáveis para a gestão pública. Essa abordagem transforma a rede neural em um instrumento de governança baseada em evidências, identificando alavancas de desenvolvimento local com rigor superior aos coeficientes de caminho tradicionais (Ahani *et al.*, 2017). A robustez é assegurada pela convergência da função de perda e pela estabilidade dos pesos (Quadro 5). Assim, as hipóteses são avaliadas quanto à plausibilidade empírica e direção das relações estruturais observadas.

Quadro 5 - Critérios de aderência e validade neural

PARÂMETRO	CRITÉRIO	OBJETIVO
R ²	> 0.50	Garantir que o modelo capture a variância dos resultados.
MAE	Tendência a 0	Minimizar a discrepância entre o real e o predito.
Elasticidade (β)	Valor Preditivo	Confirmar a direção e força da relação entre dimensões.
VIF	< 5.00	Evitar redundância entre os indicadores de entrada.
Estabilidade da <i>Loss</i>	Convergência	Assegurar que o modelo não sofreu <i>overfitting</i> .

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Ao passo que a DSR estabelece que a validade estatística é o pré-requisito para a confiança na decisão, o foco desloca-se da validação interna para a utilidade externa.

3.4 Transferência tecnológica e apropriação social do artefato

A disseminação científica ocorrerá a partir da publicação em periódicos e apresentação em congressos.

4 DIAGNÓSTICO TERRITORIAL E VALIDAÇÃO DO ARTEFATO

As pontuações atribuídas pelo Comitê Técnico da MMLN variaram entre 3,06 e 4,78, indicando que os índices (Anexo C) situam-se em um patamar satisfatório de aceitação na escala adotada. Além disso, os baixos índices de dispersão (σ entre 0,43 e 1,46) e o reduzido Coeficiente de Variação sugerem convergência nas respostas, apontando para a coerência entre os indicadores avaliados (Tabela 1).

A dimensão Facilitadores de Valor (D1) sugere consenso sobre a captação de recursos e o fomento como premissas estruturais do ecossistema. Contudo, a heterogeneidade nos itens inferiores indica divergências quanto ao papel do Estado, sinalizando que não há alinhamento uniforme sobre o nível de dependência do território em relação à gestão e ao financiamento governamental. Em Suportadores de Valor (D2), a coesão no estrato superior aponta para a relevância das redes de cooperação e da infraestrutura local. Por outro lado, a divergência nos escores inferiores sugere que certos mecanismos institucionais carecem de aderência à realidade da macrorregião, indicando que métricas padronizadas pela literatura exigem adaptações às vocações territoriais. A dimensão Inovação Realizada (D3) sinaliza alinhamento nas métricas de efetivação tecnológica e mercadológica. No entanto, a dispersão em indicadores específicos sugere um distanciamento entre formulação conceitual e viabilidade empírica. Essa variabilidade indica possíveis limitações práticas no monitoramento, apontando para a dificuldade do ecossistema em mapear inovações complexas e intangíveis. Por fim, em Resultados da Proposta de Valor (D4), a homogeneidade superior sugere consenso de que a inovação regional deve gerar impactos tangíveis na dinâmica empreendedora. Em contraste, a acentuada dispersão e rejeição ao indicador I44 indicam limites na atribuição de causalidade territorial. Variáveis macroeconômicas ou sociais demasiadamente amplas parecem não ser percebidas como desdobramentos exclusivos da inovação, o que oferece suporte para a exclusão de métricas incapazes de isolar o desempenho específico do ecossistema.

Em suma, a percepção consolidada do comitê técnico sugere que o modelo teórico proposto possui bases conceituais adequadas, mas demanda ajustes para assegurar sua aderência territorial. As avaliações indicam que a transição de um construto estritamente teórico para um artefato diagnóstico viável exige a supressão de métricas com causalidade difusa ou complexidade empírica excessiva. Dessa forma, os dados oferecem subsídios para o refinamento do instrumento, apontando para a consolidação de um modelo final enxuto, discriminante e operacionalmente alinhado às especificidades da macrorregião avaliada.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das respostas coletadas

DIMENSÃO	ÍNDICE	X	X̄	MO	MÍN	MÁX	σ	s ²	CV	α	κ
Facilitadores de valor	I1	4.78	5	5	4	5	0.43	0.18	0.09	-1.46	0.14
	I2	4.61	5	5	3	5	0.61	0.37	0.13	-1.36	1.13
	I3	4.56	5	5	3	5	0.7	0.5	0.15	-1.35	0.65
	I4	4.5	5	5	3	5	0.79	0.62	0.17	-1.23	-0.07
	I5	4.39	5	5	3	5	0.78	0.6	0.18	-0.85	-0.71
	I6	4.33	4	4	3	5	0.69	0.47	0.16	-0.55	-0.58
	I7	4.28	4.5	5	3	5	0.83	0.68	0.19	-0.59	-1.25
	I8	4.28	4	4	3	5	0.67	0.45	0.16	-0.38	-0.56
	I9	4.17	5	5	1	5	1.25	1.56	0.3	-1.37	0.99
	I10	4.17	5	5	1	5	1.29	1.68	0.31	-1.44	0.91
	I11	4.06	4.5	5	2	5	1.21	1.47	0.3	-1.01	-0.55
	I12	4	4	5	2	5	1.08	1.18	0.27	-0.62	-0.95
	I13	4	5	5	1	5	1.46	2.12	0.36	-1.03	-0.7
Suportadores de valor	I14	4.44	4.5	5	3	5	0.62	0.38	0.14	-0.62	-0.39
	I15	4.44	5	5	3	5	0.7	0.5	0.16	-0.91	-0.25
	I16	4.33	5	5	2	5	0.97	0.94	0.22	-1.21	0.3
	I17	4.28	5	5	3	5	0.89	0.8	0.21	-0.62	-1.51
	I18	4.22	4.5	5	3	5	0.88	0.77	0.21	-0.48	-1.57
	I19	4.11	4	5	2	5	0.96	0.93	0.23	-0.69	-0.6
	I20	4	4	5	1	5	1.19	1.41	0.3	-1.18	0.93
	I21	4	4	3	3	5	0.84	0.71	0.21	-	-1.59
	I22	3.94	4	5	2	5	1.06	1.11	0.27	-0.55	-0.88
	I23	3.78	4	4	2	5	0.88	0.77	0.23	-0.1	-0.64
	Inovação Realizada	I24	3.72	4	4	2	5	1.07	1.15	0.29	-0.33
I25		4.61	5	5	4	5	0.5	0.25	0.11	-0.5	-1.99
I26		4.56	5	5	2	5	0.86	0.73	0.19	-2.09	4.1
I27		4.44	4.5	5	3	5	0.62	0.38	0.14	-0.62	-0.39
I28		4.33	4	4	3	5	0.69	0.47	0.16	-0.55	-0.58
I29		4.17	4	4	3	5	0.79	0.62	0.19	-0.32	-1.24
I30		4.11	4	5	3	5	0.9	0.81	0.22	-0.24	-1.81
I31		4	4	4	1	5	1.14	1.29	0.28	-1.35	1.69
I32		3.94	4	5	2	5	1	1	0.25	-0.28	-1.27
I33		3.94	4	5	2	5	1	1	0.25	-0.28	-1.27
I34		3.67	4	4	1	5	0.97	0.94	0.26	-0.97	2.19
Resultados da proposta de valor	I35	4.5	5	5	2	5	0.86	0.74	0.19	-1.89	3.38
	I36	4.44	5	5	3	5	0.78	0.61	0.18	-1.03	-0.45
	I37	4.39	5	5	3	5	0.78	0.6	0.18	-0.85	-0.71
	I38	4.28	4.5	5	3	5	0.83	0.68	0.19	-0.59	-1.25
	I39	4.06	4	5	1	5	1.11	1.23	0.27	-1.28	1.83
	I40	4.06	4	5	2	5	0.94	0.88	0.23	-0.6	-0.53
	I41	4	4	5	2	5	0.97	0.94	0.24	-0.43	-0.96
	I42	3.94	4	4	3	5	0.73	0.53	0.18	0.09	-0.9
	I43	3.72	4	3	2	5	1.02	1.04	0.27	-0.12	-1.07
	I44	3.06	3	3	1	5	1.39	1.94	0.46	0.04	-1.02

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

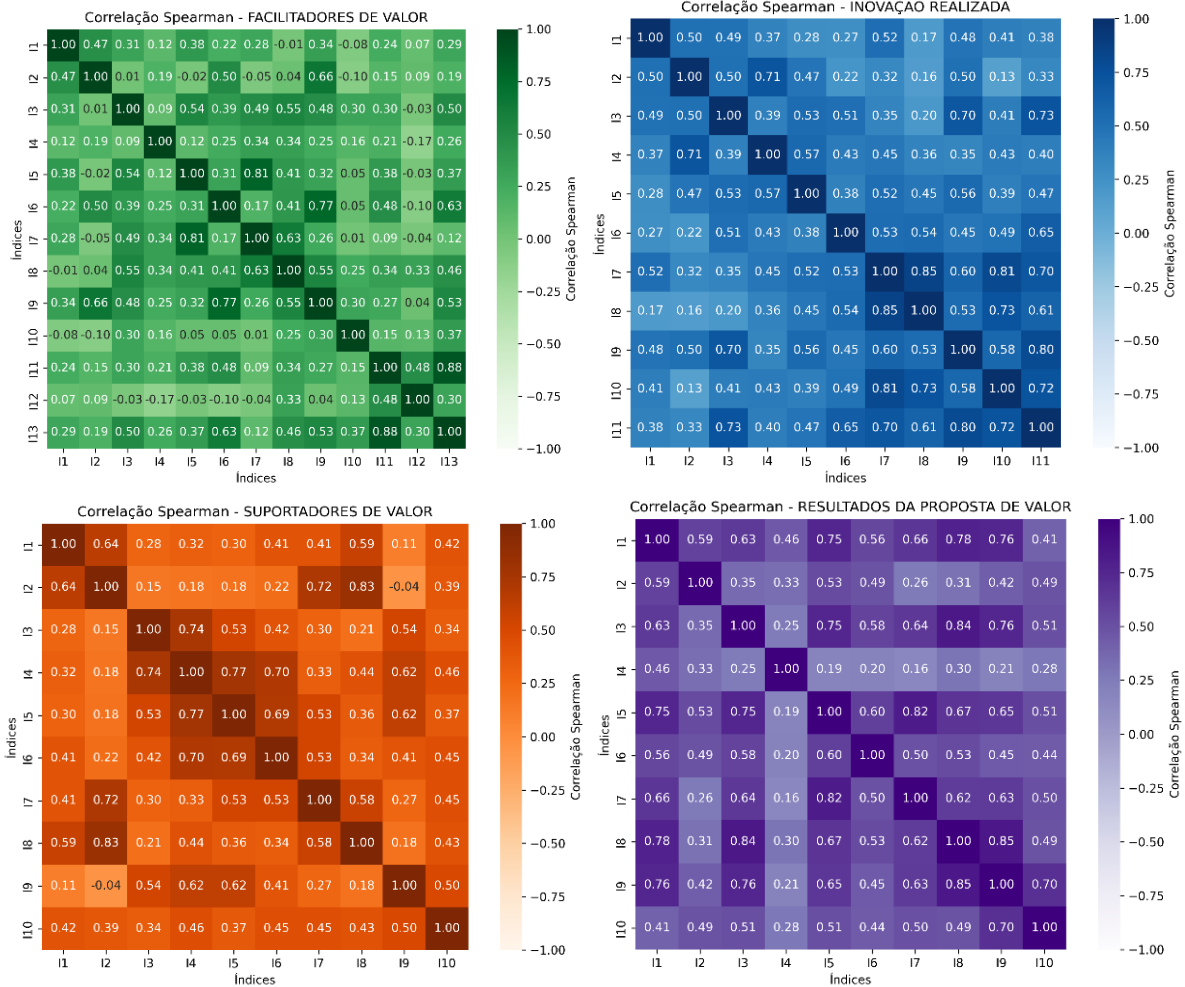
Notas: \bar{X} : Média. \tilde{X} : Mediana. Mo: Moda. Mín: mínimo. Máx: máximo. σ : Desvio Padrão.

s²: Variância. CV: Coeficiente de Variação. α : Assimetria; κ : Curtose.

Cores escuras representam valores mais altos.

Os dados apresentados na Figura 3 sugerem uma forte dependência estrutural em relação ao fomento estatal para atividades de P&D ($r \approx 0,717$), além de indicarem uma alta correlação positiva entre riqueza e bem-estar ($r > 0,80$). Por outro lado, a fraca aderência estatística observada entre a base científica e a apropriação mercadológica ($r \approx 0,173$), somada à baixa correlação entre o empreendedorismo de impacto e a variação do PIB ($r \approx 0,251$), parece apontar para gargalos estruturais significativos na translação do conhecimento tecnológico para o setor produtivo.

Figura 3 – Correlação entre os índices por dimensão



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Nota: Tons escuros indicam forte correlação positiva; tons claros, negativa.

Descrição dos índices no Anexo C.

A análise dos coeficientes de Alfa de Cronbach (Quadro 6) indica alta consistência interna entre as dimensões avaliadas ($\alpha > 0,80$), sugerindo a adequação estrutural e a confiabilidade do modelo proposto.

Quadro 6 - Resultados do teste de Alpha de Cronabch por Dimensão

DIMENSÃO	ALPHA DE CRONABCH
Facilitadores de valor	0.82
Suportadores de valor	0.86
Inovação Realizada	0.91
Resultados da proposta de valor	0.90

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A análise da Tabela 2 indica diferenças significativas entre as respostas para as dimensões D2, D3 e D4, sinalizando uma maior variabilidade interna (W) na percepção do comitê em relação a esses construtos. Para compreender as razões dessa dispersão, as assimetrias específicas foram detalhadas nas Tabelas 3 a 5.

Tabela 2 - Resultados do Teste de Friedman por Dimensão

DIMENSÃO	W	GRAUS DE LIBERDADE	Q	P-VALOR
D1	0.085	12	18.43	0.1034
D2	0.218	9	35.25	0.0001***
D3	0.129	10	23.22	0.0100**
D4	0.223	9	36.12	0.0000***

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Notas: D1: Facilitadores de valor; D2: Suportadores de valor; D3: Inovação Realizada; D4: Resultados da proposta de valor.

p < 0.05 (*), p < 0.01 (**), p < 0.001 (***)

A análise post-hoc indica que, após o controle para a taxa de falsas descobertas (FDR-BH), apenas a divergência perceptiva entre as variáveis I5 e I4 manteve significância estatística. Os dados permitem inferir que o comitê técnico percebe o aporte estatal e o investimento privado de risco como mecanismos de maturidades e viabilidades distintas no território. Essa variação indica que, enquanto o fomento público em pesquisa tende a ser compreendido como um pilar mais tradicional e consolidado na estrutura regional, a dinâmica do venture capital pode representar uma frente ainda incipiente ou de difícil tangibilização local. Portanto, a divergência estatística sugere que essas duas vias de capitalização não possuem o mesmo nível de aderência empírica, apontando para a necessidade de cautela ao avaliar o desempenho financeiro de macrorregiões que ainda não possuem um mercado de risco plenamente desenvolvido.

Tabela 3 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Suportadores de Valor (D2)

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
I2	0.1894								
I3	0.7957	0.6416							
I4	0.3163	0.0651	0.054						
I5	0.3903	0.923	0.9124	0.0202*					
I6	0.9124	0.2735	0.3872	0.2735	0.1207				
I7	0.2621	0.814	0.5691	0.054	0.6416	0.1159			
I8	0.9124	0.054	0.4065	0.3163	0.2846	0.9124	0.0553		
I9	0.0553	0.0429*	0.0202*	0.0553	0.0202*	0.0548	0.0202*	0.0553	
I10	0.7310	0.0553	0.2846	0.393	0.1159	0.8539	0.0553	0.6416	0.054

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Notas: p < 0.05 (*), p < 0.01 (**), p < 0.001 (***)

I1: Utilizar da acessibilidade a soluções financeiras externas. I2: Utilizar da acessibilidade a soluções financeiras internas. I3: Utilizar da densidade de pessoas formadas na área jurídica na região. I4: Utilizar da proporção de despesas públicas em P&D em relação ao PIB. I5: Utilizar da taxa de transações de capital de risco na região. I6: Utilizar do percentual sob a receita de investimentos de cada ator do ecossistema regional de inovação em P&D no período. I7: Utilizar do tempo de mercado dos atores do ecossistema regionais de inovação como uma aproximação para a expertise empresarial. I8: Utilizar do volume de editais publicados para a região. I9: Utilizar do volume de oportunidades de investimento governamentais disponibilizados na região. I10: Utilizar do IGDM como aproximação para a capacidade da gestão pública para a inovação.

No escopo da dimensão Inovação Realizada (D3), a avaliação dos 55 cruzamentos não indicou diferenças estatisticamente relevantes (p > 0,05), sugerindo uma percepção homogênea

por parte do comitê. Esse alinhamento indica que os especialistas compreendem a materialização da inovação como um fenômeno inerentemente multidimensional. Os dados permitem inferir que não há uma hierarquização rígida entre resultados de natureza econômica (como taxas de lucro, crescimento e retorno sobre investimento) e métricas de base científica ou tecnológica (como patentes, publicações e transferência de conhecimento).

Essa simetria perceptiva sugere que, para o comitê, o sucesso do ecossistema abrange uma captura sistêmica de valor. A ausência de dissonâncias significativas entre variáveis estritamente comerciais (exportação/importação de tecnologia) e variáveis de absorção de capital intelectual (capacidade de integrar conhecimentos) aponta para uma visão holística do território. Assim, os resultados indicam que a efetivação da inovação regional parece ser entendida como um construto indissociável de suas múltiplas frentes. Isso oferece suporte à ideia de que um modelo de mensuração territorial adequado necessita combinar as dimensões acadêmicas, mercadológicas e financeiras para capturar o real desempenho do ecossistema.

Tabela 4 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Inovação Realizada (D3)

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10
I2	0.3494									
I3	0.3932	0.0877								
I4	0.3932	1	0.0877							
I5	0.8294	0.1559	0.4733	0.1162						
I6	0.938	0.5073	0.207	0.4733	0.6376					
I7	0.8294	0.4672	0.6635	0.3494	0.838	0.4678				
I8	0.6871	0.938	0.2705	0.9397	0.34	0.8294	0.141			
I9	0.6635	0.4733	0.0877	0.6635	0.4672	0.8294	0.4717	0.8294		
I10	0.6871	0.2996	0.838	0.207	0.8294	0.4733	0.8294	0.2108	0.34	
I11	0.3349	0.0877	0.8294	0.0877	0.4672	0.1162	0.4672	0.0877	0.0877	0.467

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Notas: $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***)

I1: Medir a taxa de aumento do lucro do ator do ecossistema regional de inovação. I2: Medir a taxa de crescimento anual do ator do ecossistema regional de inovação. I3: Medir a taxa de exportação de bens e serviços intensivos em tecnologia do ecossistema regional de inovação. I4: Medir a taxa de importação de bens e serviços intensivos em tecnologia dos atores do ecossistema regional de inovação. I5: Medir a taxa de satisfação anual do ator do ecossistema regional de inovação. I6: Medir o retorno do investimento do capital investido pelos atores do ecossistema regional de inovação. I7: Utilizar da capacidade do ator do ecossistema regional de inovação de integrar e aplicar conhecimentos. I8: Utilizar da taxa de pedidos de patentes aprovadas por mil habitantes do ecossistema regional de inovação. I9: Utilizar da taxa de transferência de conhecimento tecnológico em Instituições de Pesquisa e/ou Instituições de Ensino Superior. I10: Utilizar do indicador de produção de inovação baseado na literatura, que mede o grau das inovações geradas e a sua distribuição entre setores a partir da sua publicação em revistas técnicas e comerciais. I11: Utilizar do volume de publicações científicas geradas no período na região.

A avaliação post-hoc referente à D4 aponta para a existência de divergências de percepção no comitê técnico em cinco pares específicos. De modo geral, os dados permitem inferir que o indicador I1 destoa significativamente das avaliações conferidas a I3, I5, I7, I8 e I10 ($p = 0,0275$ a $0,0418^*$). No contexto dos ecossistemas regionais de inovação, o isolamento estatístico do I1 (proporção de startups) sugere uma distinção conceitual importante por parte

dos especialistas. Os achados indicam que a métrica estritamente voltada à concentração de empresas nascentes de base tecnológica é percebida de forma assimétrica quando contrastada com indicadores de impacto macroeconômico e estrutural, como o crescimento do PIB (I3), a atratividade e retenção demográfica (I5), a dinâmica geral do mercado (I7) e o nível de atividade empreendedora (I10).

Essa variação permite inferir que o comitê reconhece limites na adoção da densidade de *startups* como variável do sucesso regional. A divergência sugere que a efetivação da proposta de valor do território transcende o mero adensamento de negócios intensivos em tecnologia, estendendo-se para resultados mais amplos de geração de riqueza sistêmica, desenvolvimento sustentável e bem-estar. Desse modo, os dados apontam que um diagnóstico aderente da macrorregião parece demandar um equilíbrio prudente entre métricas focadas no nicho da inovação e indicadores de desdobramento socioeconômico territorial.

Tabela 5 - Post-hoc Wilcoxon Dimensão Resultados da Proposta de Valor (D4)

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
I2	0.2965								
I3	0.0418*	0.2965							
I4	0.7502	0.5634	0.1184						
I5	0.0351*	0.1723	0.468	0.147					
I6	0.147	0.5533	0.4825	0.4272	0.351				
I7	0.0339*	0.1652	0.2347	0.1184	0.351	0.1652			
I8	0.0275*	0.147	0.1921	0.0639	0.5177	0.1652	0.8501		
I9	0.0351*	0.2197	0.5177	0.147	0.5634	0.351	0.9073	0.75	
I10	0.0275*	0.0275*	0.1184	0.0351*	0.1553	0.0351*	0.3357	0.351	0.147

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Notas: $p < 0.05$ (*), $p < 0.01$ (**), $p < 0.001$ (***)

I1: Utilizar da proporção de *startups* presentes na região. I2: Utilizar da taxa de crescimento anual de geração de empregos. I3: Utilizar da taxa de crescimento anual do Produto Interno Bruto (PIB). I4: Utilizar da taxa de empresas gazelas presentes na região. I5: Utilizar da taxa de migração líquida de pessoas com idade economicamente ativa da região. I6: Utilizar da taxa do nível de instrução da parcela da população em idade economicamente ativa da região. I7: Utilizar da taxa líquida de empresas abertas/fechadas anual na região. I8: Utilizar do componente Qualidade do Meio Ambiente disponibilizado pelo IPS Brasil. I9: Utilizar do componente saúde e bem-estar do IPS BRASIL. I10: Utilizar do nível de atividade empreendedora da região.

Em síntese, os achados oferecem indícios consistentes para embasar a definição de critérios voltados à seleção e à retenção dos índices em cada dimensão metodológica.

4.1 Refinamento do artefato: critérios de seleção e retenção de indicadores

O processo de seleção dos indicadores orientou-se pela busca de conciliação entre o suporte estatístico e a abrangência teórica (Quadro 7). Na dimensão Facilitadores de Valor (D1), a exclusão de métricas com elevada dispersão sugere que o diagnóstico de desempenho do ecossistema requer alto consenso sobre quais são os seus insumos fundamentais. Em Suportadores de Valor (D2), a retenção do I16 por sua relevância conceitual ($X = 4,33$) e a

supressão do I18 devido à forte colinearidade ($p > 0,80$) com o I15 indicam que a avaliação das redes e infraestruturas de apoio demanda variáveis distintas, evitando que sobreposições informacionais distorçam a leitura da maturidade institucional.

Na dimensão Inovação Realizada (D3), a consolidação de cinco índices, com destaque para o resgate do I31 a despeito de sua maior variabilidade ($\sigma = 1,14$), aponta para a complexidade inerente ao fenômeno inovativo. Em Resultados da Proposta de Valor (D4), a filtragem resultou na manutenção de sete índices, sugerindo um direcionamento focado na captura de impactos estruturais.

Quadro 7 - Critérios para Seleção e Retenção de Índices por Dimensão

DIMENSÃO	RETIDOS	CRITÉRIOS PARA RETENÇÃO	REMOVIDOS	CRITÉRIOS PARA REMOÇÃO
D1	I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9	Alto consenso ($\bar{X} \geq 4.28$, $\sigma \leq 0.83$); correlações moderadas; FDR-BH $p = 0.1034$.	I10, I11, I12, I13	Elevada controvérsia perceptiva ($\sigma > 1.0$), indicando baixa convergência de opiniões entre os especialistas.
D2	I14, I15, I16, I17, I18, I21, I23	Forte consenso sobre a relevância ($\sigma \leq 0.89$); retenção de item com relevância teórica (I16); alta consistência interna ($\alpha = 0.86$).	I19, I20, I22	Redundância (I18 vs. I15, $\rho > 0.8$); elevada controvérsia (I20, $\sigma > 1.1$); ou relevância e consenso inferiores aos itens retidos.
D3	I25, I27, I28, I29, I31	Consenso forte ($\sigma \leq 0.86$); inclusão de item teoricamente indispensável (I31); excelente consistência interna ($\alpha = 0.91$).	I24, I26, I30, I32, I33, I34	Baixa relevância percebida (I24, I34); sobreposição conceitual e consenso inferior aos itens de topo (I26); elevada controvérsia.
D4	I35, I36, I37, I38, I39, I41, I44	Alto consenso ($\sigma \leq 0.86$); inclusão de itens para garantir abrangência teórica (I39, I43); excelente consistência interna ($\alpha = 0.90$).	I40, I42, I43	Relevância e consenso muito baixos (I44); ou hierarquicamente inferiores aos itens retidos na análise de consenso-relevância.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Nota: D1: Facilitadores de valor; D2: Suportadores de valor; D3: Inovação Realizada; D4: Resultados da proposta de valor.

Ao eliminar redundâncias estatísticas e variáveis com alta controvérsia perceptiva, os dados indicam que a capacidade de inovar e gerar valor no território é compreendida de forma mais clara por um conjunto enxuto e discriminante de indicadores.

4.2 Análise das sugestões qualitativas dos especialistas

As sugestões qualitativas coletadas no Questionário foram submetidas a uma avaliação de viabilidade (Quadro 8), considerando defasagem máxima de dois anos, dados com nível de granularidade municipal e acessibilidade via dados abertos ou *application programming interface* (API), disposta no Anexo D. Desta forma, o painel de indicadores se atualiza conforme o Quadro 9 (Anexo E). Na próxima seção, analisa-se a distribuição e a variabilidade das variáveis dependentes que compõem os eixos Econômico, Social e Ambiental.

4.3 Assimetrias regionais: a formação de ilhas de prosperidade

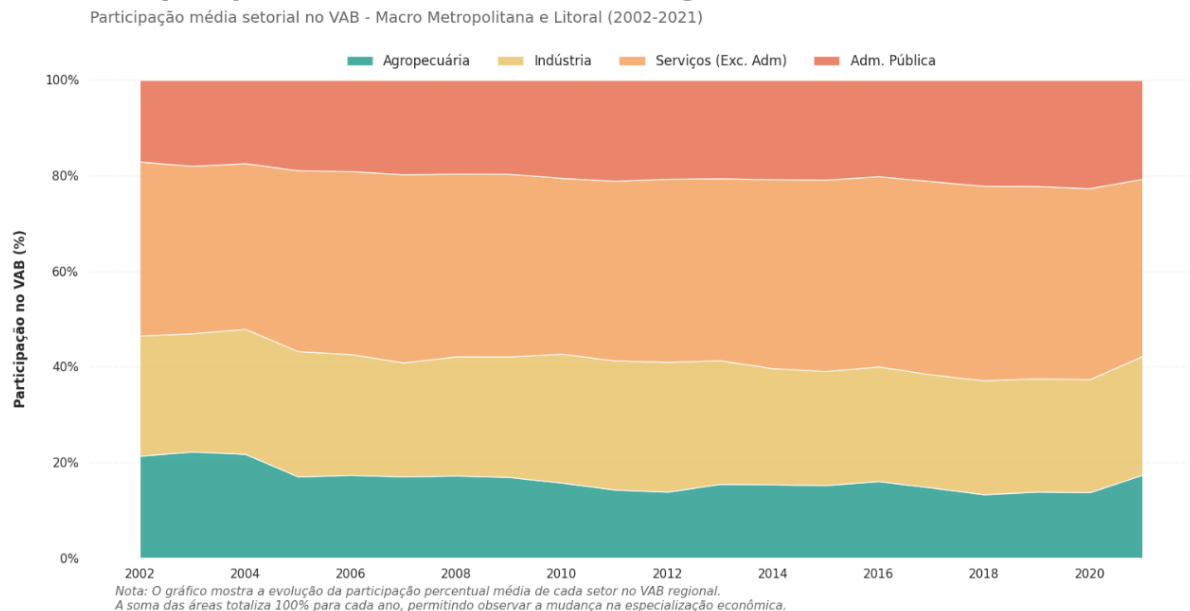
Os dados longitudinais (2002–2023) sugerem a ocorrência de três fenômenos econômicos: (i) a terciarização da base produtiva com forte dependência estatal; (ii) a

reconfiguração espacial das centralidades, impulsionada por deseconomias de aglomeração; e (iii) um descolamento entre a geração de riqueza e a inclusão produtiva.

4.3.1 A transição para uma economia de serviços e a rigidez do setor público

A evolução do Valor Adicionado Bruto (VAB) (Figura 4) indica uma transição estrutural da Indústria para os Serviços. Essa mudança pode estar associada ao aumento da renda e à automação, que deslocam o foco econômico para o setor terciário (Fisher, 1939; Clark, 1940). Esse fenômeno pode ser interpretado não como uma simples desindustrialização, mas sim como a sofisticação da matriz produtiva regional por meio de serviços de alto valor agregado (Kuznets, 1966). Em contrapartida, a participação estagnada do Setor Público (cerca de 20% do VAB) pode indicar dependência de trajetória (North, 1990), em que o estado atua como um estabilizador contínuo de renda, o que pode estar associado ao risco de *lock-in* institucional (Grabher, 1993; Arthur, 1994). Essa dependência dos fluxos orçamentários públicos pode limitar a vitalidade endógena do setor privado, dificultando a renovação econômica do território (Hassink, 2010b).

Figura 4 - Desindustrialização relativa e a ascensão dos serviços
Composição da Matriz Econômica Regional (%)

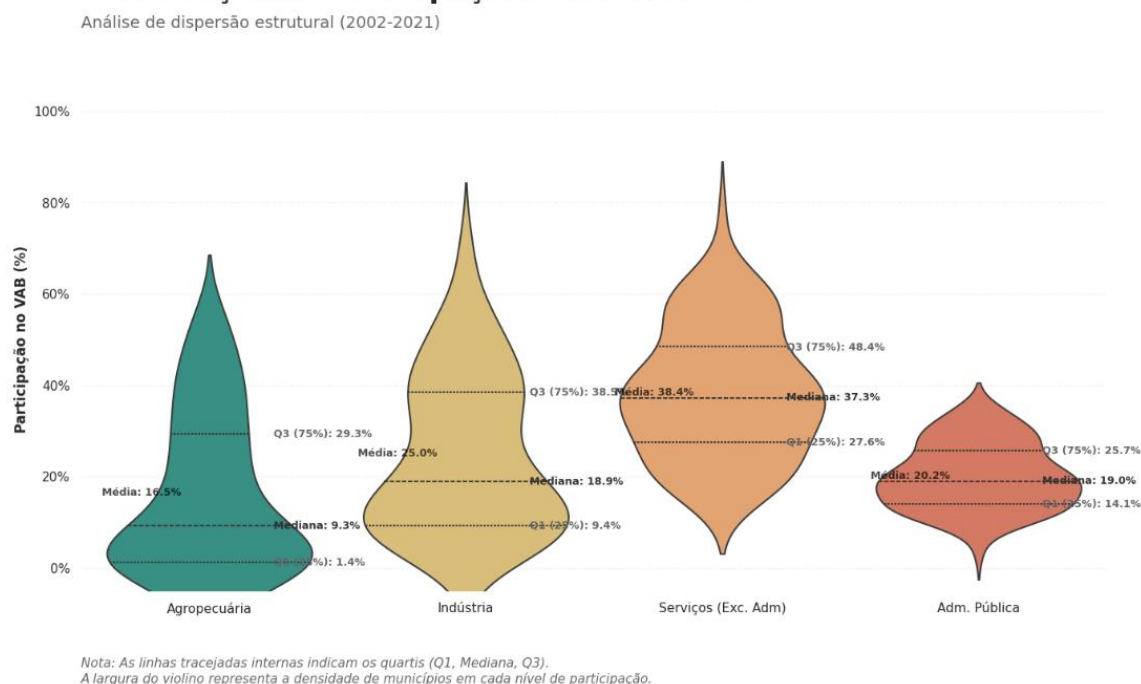


Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do IPEA (2002-2023).

A decomposição setorial (Figura 5) destaca que, na Indústria, a maioria dos municípios apresenta atividade incipiente, contrastando com alguns de altíssima densidade produtiva. Essa aglomeração é compatível com a busca por externalidades positivas, gerando agrupamentos de

alta competitividade cercados por áreas de forte dependência econômica (Porter, 1998). Em paralelo, o comportamento do setor de Serviços sugere sua atuação como eixo de sustentação transversal na macrorregião, caracterizado pela maior consolidação central (mediana de 37,3%) e por uma distribuição comparativamente simétrica. Essa configuração permite inferir uma matriz territorial fortemente terceirizada, o que pode representar uma base de suporte para o encadeamento tecnológico das indústrias locais. Em contrapartida, a reduzida dispersão e o formato compactado observados na Administração Pública (mediana de 19,0%) indicam uma rigidez estrutural generalizada. Essa concentração sugere que, independentemente do dinamismo produtivo local, há um piso invariável de participação estatal. Para o ecossistema, essa característica sinaliza uma dependência em relação à máquina pública, sugerindo que as estratégias territoriais de fomento à inovação necessitam equacionar o peso dessa inércia burocrática e orçamentária presente na maioria dos municípios.

Figura 5 - Análise da dispersão setorial, participação do PIB no VAB - MMLN - 2002–2023
Distribuição da Participação Setorial Média

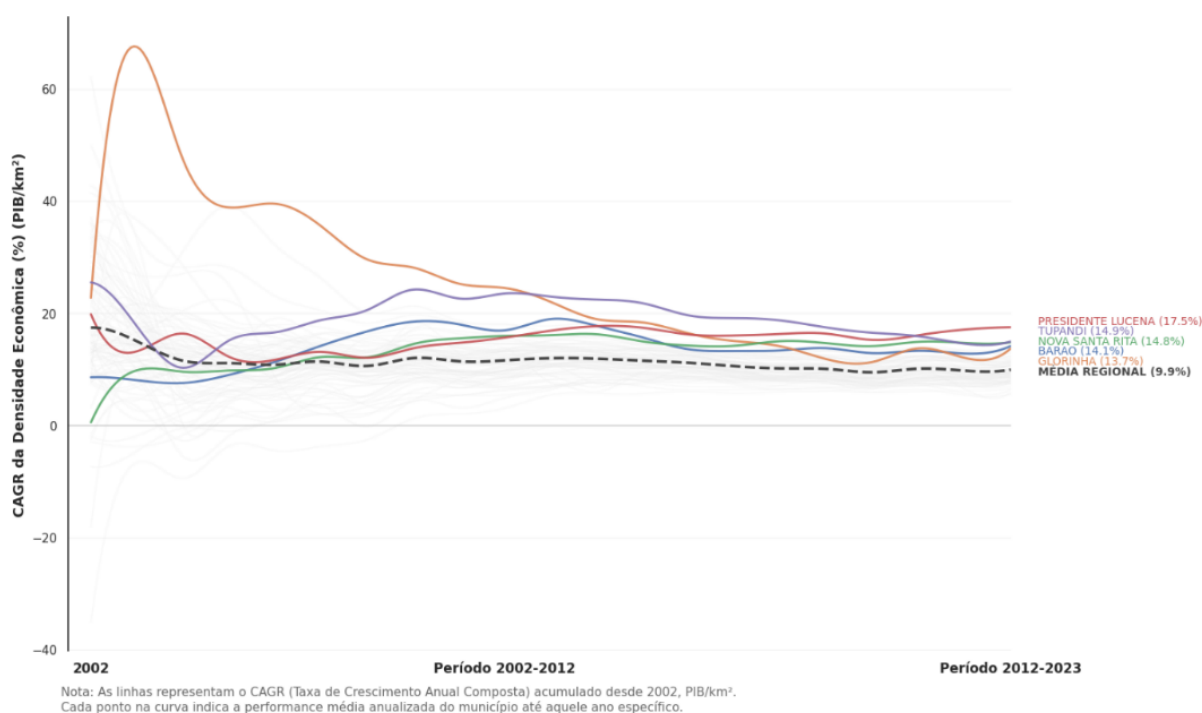


Fonte: elaborado a partir dos dados do IPEA (2002-2023).

A análise conjunta do adensamento econômico e da dinâmica empresarial (Figuras 6 e 7) sugere sinais de deseconomias de aglomeração — em que a saturação espacial e os custos superam os benefícios —, o que pode estar associado ao deslocamento do dinamismo para as franjas metropolitanas e o litoral (Krugman, 1991). Concomitantemente, a forte expansão de municípios periféricos, como Nova Santa Rita e Tupandi, é compatível com a tese de reversão

da polarização (Richardson, 1973). Essa transição indica uma reconfiguração nas redes de produção e de difusão de conhecimento. O esfriamento da densidade nos grandes centros permite inferir que a atratividade histórica dos polos tradicionais pode estar sendo mitigada por gargalos estruturais e altos custos operacionais. Isso sugere que o território está migrando de uma lógica estritamente monocêntrica para um arranjo policêntrico, no qual novas centralidades passam a atuar como nós relevantes na atração de empresas e investimentos. Essa dinâmica indica que as políticas públicas e a governança do ecossistema precisam acompanhar a interiorização das cadeias produtivas, assegurando que os municípios em franca expansão disponham dos facilitadores de valor (como fomento) e dos suportadores (como redes e infraestrutura) necessários para sustentar a competitividade a longo prazo.

Figura 6 - Dinâmicas de adensamento econômico e a emergência de novas centralidades
Velocidade Composta de Adensamento Econômico

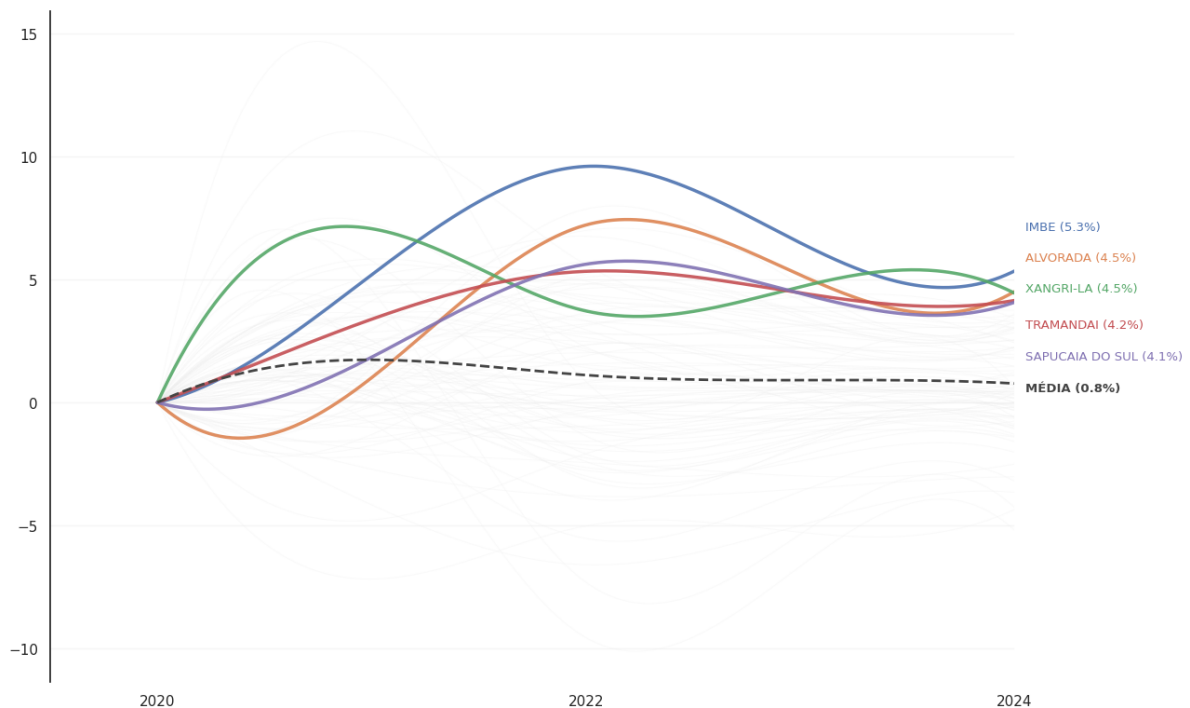


Fonte: elaborado pelo autor a partir dos dados do IPEA (2002-2023).

Em paralelo, a expansão empresarial no Litoral Norte questiona a premissa de uma economia sazonal. A Figura 7 sugere uma interiorização litorânea alinhada aos pressupostos da sociedade em rede (Castells, 2000), na qual os novos padrões de trabalho remoto e a conectividade podem favorecer a atração e retenção da classe criativa (Florida, 2002). Pode-se interpretar como uma reconfiguração espacial associada à busca por qualidade de vida, dissociando a geração de alto valor agregado da necessidade de adjacência física aos grandes

centros metropolitanos. No âmbito da governança e da articulação do ecossistema, essa transição aponta para a necessidade de readequação dos suportes de valor. A descentralização da atividade empreendedora sugere que o território passa a demandar investimentos focados em conectividade, espaços colaborativos e integração virtual, complementando ou até substituindo o modelo clássico de parques tecnológicos físicos concentrados. Dessa forma, a capacidade contínua de inovar na macrorregião dependerá da habilidade sistêmica de articular essas novas centralidades, garantindo que o talento retido no litoral esteja plenamente integrado às cadeias produtivas do estado.

Figura 7 - A ascensão das periferias metropolitanas e do Litoral Norte na abertura de empresas
Nível de Atividade Empreendedora (Estabelecimentos)



Nota: CAGR acumulado desde 2020. Linha tracejada indica média regional. Etiquetas ajustadas para evitar sobreposição.

Fonte: elaborado com dados RAIS/CAGED (2020-2024).

Nota: CAGR: Taxa de Crescimento Anual Composta.

A transição da MMLN de um modelo monocêntrico para uma rede de cidades complementares sugere a necessidade de políticas supramunicipais que integrem os novos polos de dinamismo, evitando a fragmentação territorial. A Figura 8 sugere que o crescimento do PIB (2020-2024) se descolou da geração de emprego. Com uma correlação mínima ($r = 0,19$), indica que a mera produção de valor em um ecossistema não parece garantir sua difusão social (Autio e Thomas, 2014).

A segmentação dos quadrantes aponta para dinâmicas regionais isoladas. No perfil virtuoso (Alto PIB/Alto Emprego, ex: Nova Santa Rita), os dados sugerem a presença de ecossistemas locais equilibrados, onde a inovação parece ativar multiplicadores de emprego adequados (Cooke, 2001). Em contraste, a alta produtividade associada à retração de vagas (Alto PIB/Baixo Emprego, ex: Tupandi) sinaliza um viés de inovação capital-intensiva. Esse arranjo sugere uma modernização tecnológica focada em eficiência (como a automação industrial) que, por carecer de cadeias locais de serviços avançados para absorver o capital humano deslocado, falha em promover inclusão laboral (Asheim; Grillitsch; Trippel, 2017).

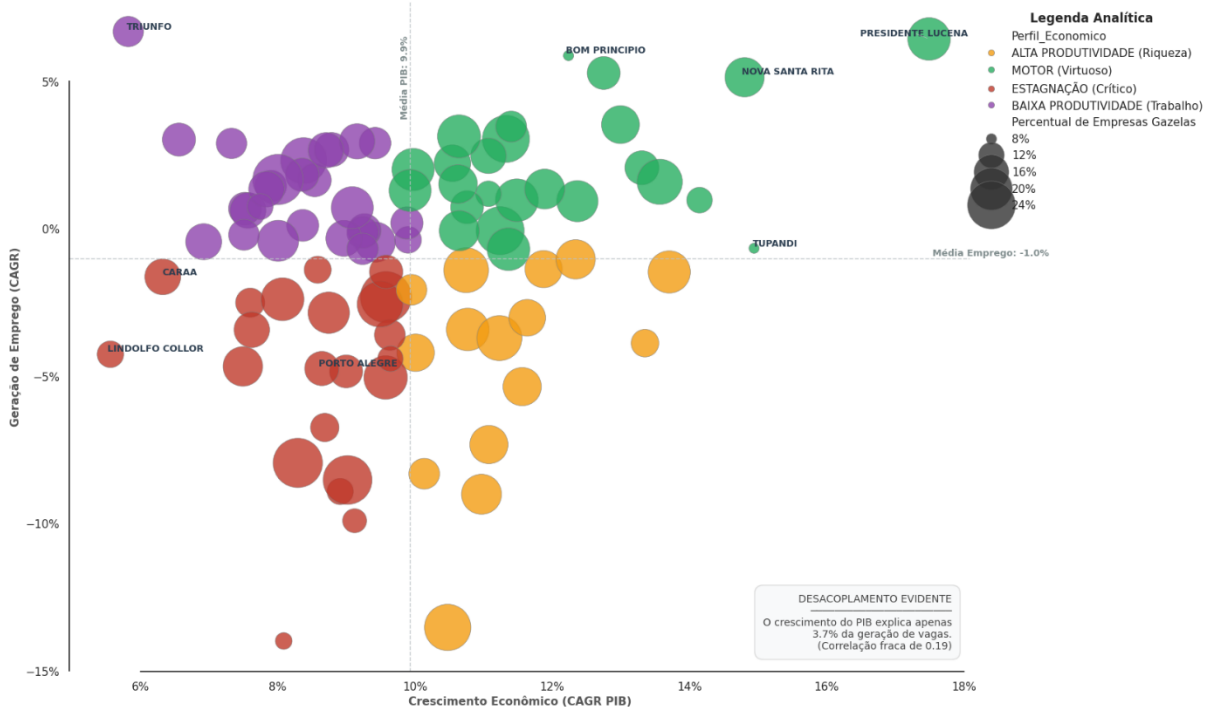
Nas áreas de baixa produtividade, os riscos sistêmicos tornam-se latentes. A expansão ocupacional descolada da geração de riqueza (Baixo PIB/Alto Emprego, ex: Triunfo) sugere um adensamento focado em setores tradicionais de baixo valor agregado, apontando para uma fragilidade competitiva a longo prazo (Porter, 1990). O quadrante crítico de estagnação (Baixo PIB/Baixo Emprego), que agrupa municípios periféricos e, notavelmente, o núcleo metropolitano (Porto Alegre), alerta para armadilhas regionais de desenvolvimento (Isaksen; Trippel, 2016). Essa inércia no centro sugere um esgotamento da aglomeração clássica, demandando estratégias de renovação e diversificação tecnológica.

Por fim, a concentração de "Empresas Gazelas" nos polos de melhor desempenho alinha-se à tese da tração exercida por firmas de alto crescimento (Henrekson; Johansson, 2010). Contudo, a ausência de transbordamentos espaciais para os municípios adjacentes sugere a formação de "ilhas de excelência" desconectadas de sua vizinhança. Essa fragmentação corrobora os pressupostos de Foray (2015), indicando que o desenvolvimento regional sistêmico não opera de maneira automática. Tais indícios sugerem que a governança do ecossistema necessita articular intencionalmente as capacidades latentes das periferias às cadeias dinâmicas ativadas pelas empresas.

Figura 8 - Eficiência na conversão de crescimento econômico em emprego

Crescimento Assimétrico: A Disparidade entre Riqueza e Trabalho

Análise da matriz de desenvolvimento revela quatro dinâmicas isoladas, sem efeito de transbordamento claro.



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE e RAIS/CAGED (2026).

Esse diagnóstico levanta uma questão explicativa: o que sustenta ou limita essas trajetórias? Afinal, o crescimento econômico não ocorre no vácuo; ele está associado a estoques de capital humano e bem-estar social. A persistência de um crescimento excludente (sem geração proporcional de empregos) pode ser analisada sob a ótica de múltiplos fatores, dentre os quais destacam-se a possível carência de qualificação da força de trabalho ou os níveis de bem-estar social, que influenciam a atração e retenção de talentos. Para que a destruição criadora de Schumpeter gere novos ciclos de prosperidade e não apenas desemprego tecnológico, os dados sugerem a relevância de uma base social robusta. O crescimento excludente observado sugere que a sustentabilidade do desenvolvimento pode estar associada à capacidade de atrair a classe criativa (Florida, 2002) e requalificar a força de trabalho para as exigências da nova economia.

4.3.2 O paradoxo do bem-estar: longevidade, saúde mental e capital humano

A análise da inovação implica ir além da visão do território como um mero repositório de firmas, compreendendo-o como um ambiente socialmente enraizado. Sendo o capital humano o motor da destruição criadora (Schumpeter, 1942), a sua plena mobilização depende

de condições estruturais de bem-estar, as quais garantem as capacidades dos agentes (Sen, 1999). Uma vez que a inovação constitui, na sua essência, um processo de aprendizagem coletiva e interativa (Lundvall, 1992; Asheim, 1996), a introdução da dimensão social torna-se relevante. Territórios marcados por fragilidades na saúde e na qualidade de vida podem apresentar erosão gradual das suas capacidades cognitivas e do seu capital relacional (Camagni, 1991), o que pode comprometer a sustentabilidade de qualquer trajetória de desenvolvimento.

A Matriz de Bem-Estar (Figura 9) sugere como a exclusão socioeconômica se materializa em indicadores biológicos, sendo compatível com a tese dos "lugares que não importam" (Rodríguez-Pose, 2018). Como a inovação depende da transmissão de saberes (Malmberg; Maskell, 2002), territórios com alta mortalidade prematura, podem apresentar limitações na capacidade absorptiva (Asheim; Gertler, 2006). Concomitantemente, a dispersão das taxas de suicídio alerta que fragilidades no Capital Social (Putnam, 1993) podem comprometer a resiliência regional, mesmo sob aparente estabilidade econômica.

A partir desta heterogeneidade, a matriz categoriza os municípios em quatro quadrantes. O quadrante de Vitalidade (alta longevidade e baixa mortalidade precoce) indica ambientes com elevada coesão e governança relacional. No contexto do ecossistema de inovação, essa dinâmica parece propícia à atração e à retenção da classe criativa (Florida, 2002). Isso permite inferir que a estabilidade demográfica e a qualidade de vida nessas localidades oferecem alicerces para atividades intensivas em conhecimento, mitigando perdas de talentos e sustentando ciclos de desenvolvimento de longo prazo.

Em contrapartida, o quadrante de Transição Epidemiológica (alta expectativa de vida, mas alta mortalidade precoce) sinaliza um paradoxo territorial. A concentração de municípios com indicadores críticos de suicídio na faixa etária produtiva (como Mariana Pimentel e Alto Feliz) sugere que o avanço local pode estar acompanhado de pressões psicossociais. Para o ecossistema, isso aponta para vulnerabilidades na manutenção de jovens talentos e na resiliência mental da força de trabalho. Tais indícios sustentam a premissa de Sen (1999) de que o desenvolvimento, quando desprovido de suportes de segurança psicológica, pode asfixiar as capacidades humanas essenciais à capacidade sustentável de inovar.

O quadrante de Exclusão (baixa expectativa de vida e alta mortalidade precoce, concentrado no Alto Risco Social) mapeia os territórios onde as vulnerabilidades primárias impõem as maiores barreiras ao ecossistema. A incidência de mortalidade crônica e falhas de saúde estruturais sugere que, nestas áreas, as demandas básicas de sobrevivência competem diretamente com a capacidade de absorção tecnológica. Isso indica que, sem a prévia

equalização dessas fragilidades, políticas sofisticadas de fomento à inovação tendem a encontrar baixíssima aderência, correndo o risco de aprofundar as assimetrias regionais.

Por fim, o quadrante de Sobrevivência Restrita (baixa mortalidade precoce, mas baixa expectativa de vida geral, a exemplo de Harmonia) indica gargalos associados ao envelhecimento populacional e aos determinantes sociais da saúde (Marmot, 2005). Para o ecossistema regional, essa configuração sugere desafios diretos à sucessão de conhecimento e à renovação das redes colaborativas.

Figura 9 - Panorama da saúde regional: correlação entre longevidade e mortalidade precoce
Matriz de Bem-Estar: Expectativa de Vida vs. Mortalidade (15-50 anos)



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do IPS (2025).

Em suma, a distribuição da matriz permite inferir que o desempenho e a sustentabilidade da inovação regional dependem da capacidade do território de tratar a saúde pública e o bem-estar humano como suportes para a vitalidade do ecossistema.

4.3.3 Sustentabilidade e risco climático

A transição para economias baseadas no conhecimento indica a relevância de os ERIs incorporarem a dimensão ecológica como um motor de resiliência e vantagem competitiva (Porter; van der Linde, 1995). No contexto da MMLN, a sustentabilidade pode ser interpretada

como variável relevante do desenvolvimento (Cooke, 2010). A análise ambiental fundamenta-se na relevância de compreender como o território internaliza as suas externalidades negativas e preserva os seus ativos naturais. Afinal, a degradação dos serviços ecossistêmicos não apenas pode impor limites biofísicos ao crescimento de longo prazo (Daly, 1990), como também pode comprometer as amenidades locais, atuando potencialmente como fator de desestímulo à atração e retenção de talentos da classe criativa (Florida, 2002).

Os resultados indicam ausência de relação linear direta entre emissões e risco ambiental, sugerindo que a resiliência climática depende mais da capacidade adaptativa local — especialmente governança, planejamento e capital social — do que de variáveis ambientais isoladas (Folke et al., 2010). Assim, o território pode ser compreendido como um sistema socioecológico integrado, no qual o risco emerge da interação entre pressões antrópicas e robustez institucional.

A partir dessa leitura, a MMLN pode ser classificada em quatro zonas analíticas: (O quadrante crítico (alta emissão e alta vulnerabilidade) aponta para processos intensos de degradação ambiental. Para o ecossistema, essa configuração indica o esgotamento de matrizes produtivas tradicionais, sugerindo uma urgência por transições sociotécnicas (Geels, 2011). Isso permite inferir que, nessas áreas, a inovação necessita focar no desenvolvimento de tecnologias limpas para evitar a retração do capital produtivo e social devido a colapsos ambientais.

Em contrapartida, a zona de resiliência (baixa emissão e baixa vulnerabilidade) indica um ambiente com externalidades mitigadas. No contexto da inovação regional, essa estabilidade sugere alicerces seguros para o desenvolvimento sustentável, favorecendo a manutenção da qualidade de vida urbana e, por conseguinte, a atração e retenção de capital humano qualificado. Por outro lado, territórios com baixa emissão, mas alta vulnerabilidade, sinalizam lacunas de planejamento territorial (Bristow; Healy, 2014). Para o ecossistema, isso sugere uma demanda latente por inovações adaptativas e infraestruturas inteligentes voltadas à mitigação de riscos climáticos.

Por fim, os cenários de alta emissão combinados à baixa vulnerabilidade indicam contextos em que os impactos imediatos parecem ser suportados pela infraestrutura local, a despeito da forte pressão exercida sobre o macroambiente. Para o ecossistema de inovação, essa dinâmica sugere o desafio estratégico da descarbonização. A resiliência local pode gerar uma falsa percepção de segurança, indicando que a governança do ecossistema deve induzir

inovações focadas em eficiência produtiva para antecipar pressões regulatórias globais e manter a competitividade a longo prazo.

Em suma, a dispersão dos dados ambientais sugere que o modelo teórico de avaliação do ecossistema de inovação necessita incorporar o risco climático como uma variável estruturante de desempenho. Os dados permitem inferir que a resiliência ambiental atua como um limite ou um catalisador das capacidades inovativas de uma região. Dessa forma, evidencia-se que o monitoramento do desenvolvimento do ERI depende de sua capacidade de aliar crescimento econômico à adaptação climática sistêmica.

Figura 10 - Risco e resiliência climática: emissões de CO₂e vs. IVCM por município
Matriz de Risco Ambiental: Emissões vs. Vulnerabilidade (IVCM)



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do IPS (2025).

A triangulação das dimensões econômica, social e ambiental evidencia padrões que remetem à existência de assimetrias territoriais no contexto analisado. Como eles atuam como variáveis de resposta, a transição de um diagnóstico puramente descritivo para uma governança propositiva no escopo do INOVA/RS sugere a investigação dos motores latentes do ecossistema, assunto discutido na seção seguinte.

4.4 Do diagnóstico à causalidade: a necessidade da engenharia de características na modelagem do ecossistema

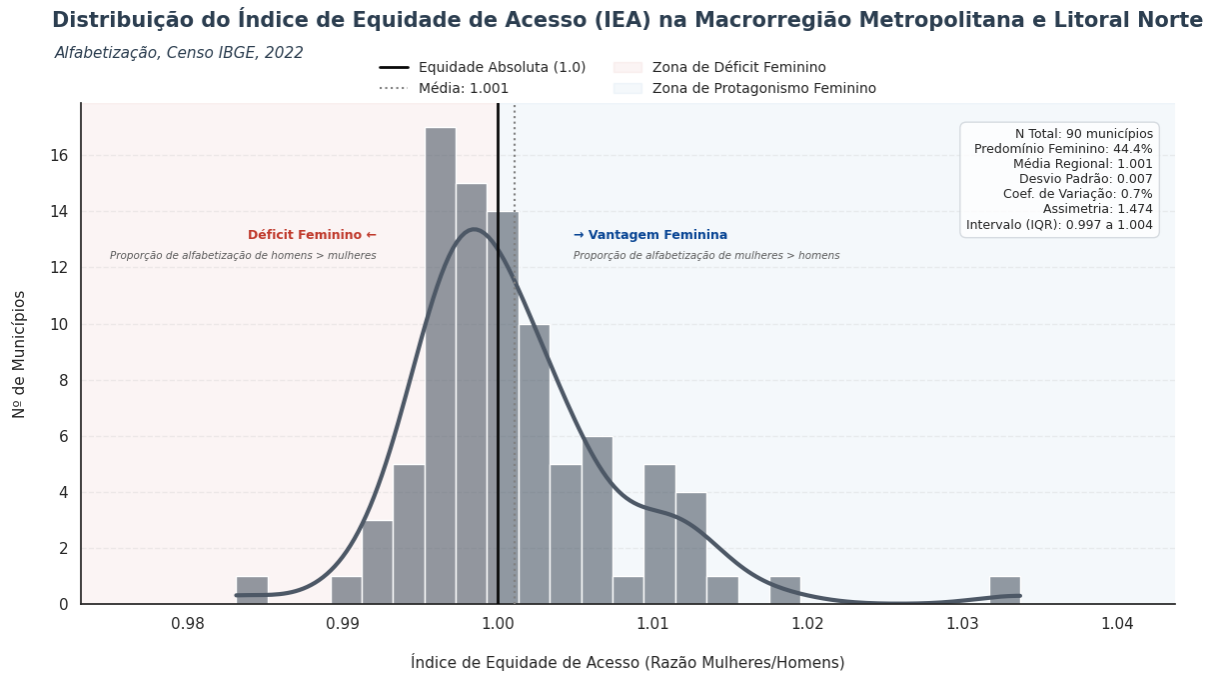
Para que o diagnóstico regional supere a descrição e alcance uma dimensão explicativa, utiliza-se a Engenharia de Características. Essa técnica articula a Geografia Econômica à modelagem computacional, transformando dados brutos em constructos multidimensionais capazes de captar dinâmicas latentes e as não linearidades do desenvolvimento regional.

Visando a utilidade prática para o INOVA/RS, a modelagem fundamenta-se em três pilares: i) Arquitetura hierárquica: analisa o ecossistema como um sistema complexo, organizando variáveis em níveis (Atributos, Índices e Dimensões), sob a premissa de que o êxito regional pode advir da sinergia entre esses pilares; ii) Métricas de intensidade relativa: priorizam indicadores de densidade sobre volumes absolutos para mitigar distorções de escala e prover subsídios sobre a eficiência do território; iii) Aglomeração como controle: utiliza a Densidade do PIB para ponderar como a concentração urbana pode influenciar a interação entre agentes e a difusão de conhecimento. O detalhamento dessas características e a fundamentação teórica seguem nas próximas subseções, com indicadores consolidados no Anexo F.

4.4.1 O estoque cognitivo feminino: potencial latente para a economia do conhecimento

O desenvolvimento de longo prazo é frequentemente associado ao acúmulo de capital humano, que consolida o estoque cognitivo como infraestrutura relevante da Economia do Conhecimento (Paul Romer, 1990) e como elemento relacionado à capacidade absorptiva territorial (Erkko Autio; Llewellyn Thomas, 2014). Nesse contexto, o Índice de Equidade de Acesso (IEA) (Figura 11) busca mensurar a distribuição relativa desse capital no território. Nele, observa-se predomínio feminino, o que pode estar associado à evasão masculina precoce, possivelmente influenciada por custos de oportunidade relacionados ao ingresso antecipado no mercado de trabalho (Gary Becker, 1993).

Figura 11 - Distribuição da equidade de gênero na alfabetização



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: IEA = 1,0: indica um cenário de paridade plena no acesso à instrução primária.

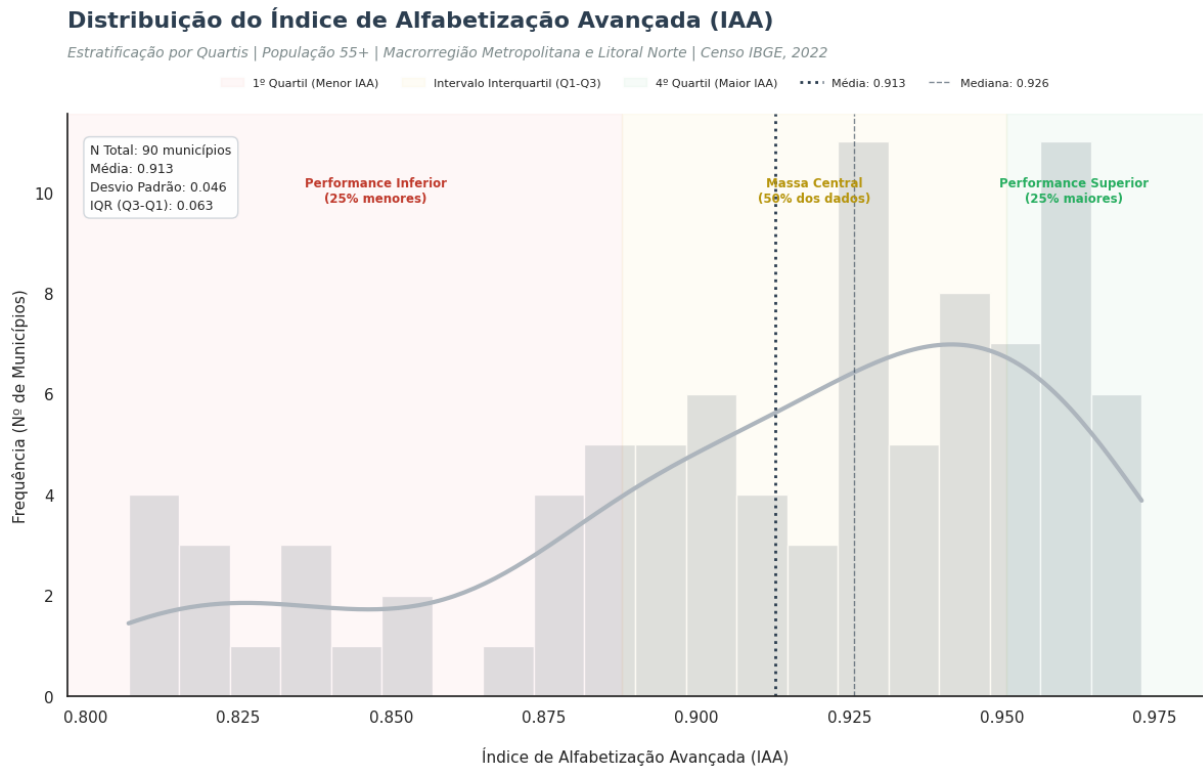
Dessa forma, a leitura do IEA permite discutir em que medida a estrutura produtiva regional apresenta condições para absorver esse estoque qualificado e converter o letramento em dinâmicas econômicas mais intensivas em conhecimento.

4.4.2 O legado educacional e a prontidão para a longevidade

De forma complementar, o Índice de Alfabetização Avançada (IAA) (Figura 12) foi construído com o objetivo de representar a maturidade histórica das políticas educacionais e a capacidade potencial de aprendizagem ao longo da vida. Em um contexto de transição demográfica acelerada, a alfabetização da população sênior pode ser interpretada como parte da infraestrutura social de bem-estar, associando-se à possibilidade de assimilação de novos conhecimentos e de adaptação a transformações tecnológicas e criativas (Florida, 2002).

Os dados indicam padrão compatível com processos descritos como dependência de trajetória, que podem estar relacionados a diferentes ritmos de convergência social e a distintas capacidades de resposta a dinâmicas econômicas emergentes (Martin; Sunley, 2006).

Figura 12 - O legado educacional



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: IAA < 0.88: A baixa alfabetização nesta faixa etária atua como um limitador da resiliência comunitária. IAA > 0.88: O território possui capital social, mas pode enfrentar desafios na comunicação de políticas complexas. IAA ≥ 0.95: Territórios com melhores infraestruturas sociais para o aprendizado ao longo da vida.

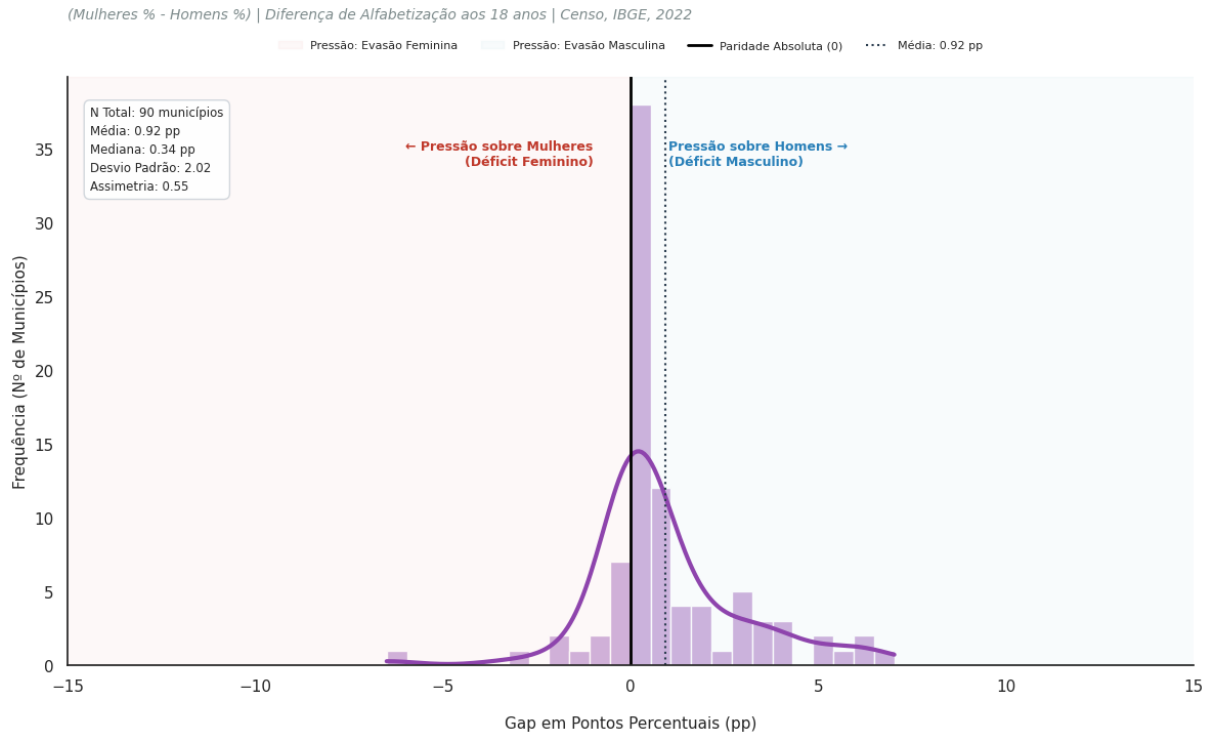
Nesse sentido, o IAA pode ser interpretado como uma *proxy* associada ao capital social, na medida em que a inclusão cognitiva se relaciona à formação de redes de confiança e à resiliência territorial (Putnam, 2000).

4.4.3 A fronteira da profissionalização: a evasão seletiva do capital humano

O Hiato de Gênero na *Pipeline* de Produção (GPP) (Figura 13) foi concebido para avaliar padrões de transição educativa ao emprego aos 18 anos, fase em que muitos jovens ingressam no mercado de trabalho e, potencialmente, contribuem para a formação de massa crítica de capital humano (Schumpeter, 1997; Nelson, 2018).

No conjunto de dados analisados, observa-se que mulheres apresentam, em média, maior letramento ao atingir a maioria do que homens. Esse padrão é compatível com perspectivas que apontam para trajetórias educacionais diferenciadas por gênero e para a possibilidade de coevolução institucional ao longo do tempo, em que ecossistemas regionais podem ativar ciclos de retroalimentação que reflitam mudanças estruturais na formação e alocação de capital humano (Nelson, 2018; Kuhlman et al., 2017).

Figura 13 - Gap de gênero na *pipeline* de produção: assimetria positiva e evasão masculina
Distribuição do Gap de Gênero na Pipeline de Produção (GPP)



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: GPP > 0: maior evasão masculina. GPP < 0: maior evasão feminina.

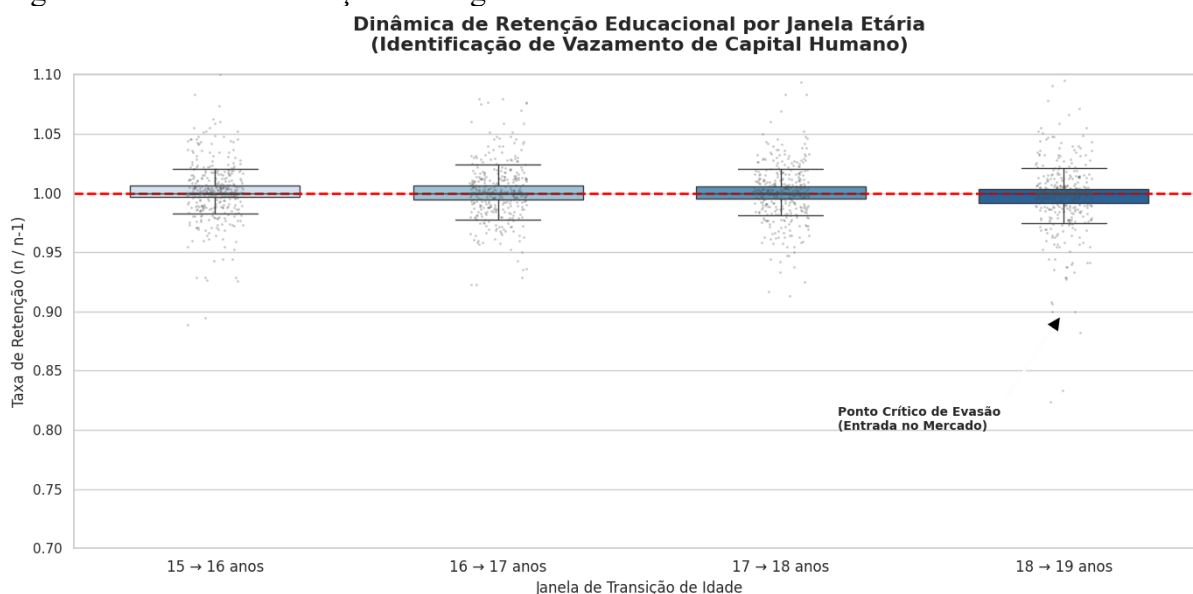
Nesse sentido, o diagnóstico do GPP permite discutir potenciais desequilíbrios na formação e retenção de talentos, que, segundo a literatura evolucionária, constituem insumos importantes para a inovação regional ao longo do tempo.

4.4.4 Dinâmica de vazamento de capital humano

A Taxa de Retenção Educacional (TRE) mede a persistência escolar entre 15 e 19 anos, operacionalizada pela razão entre coortes consecutivas ($TRE = n/n-1$), em diálogo com a Teoria do Capital Humano (Becker, 1964; Mincer, 1974). Em contextos de maior vulnerabilidade, parte dos jovens pode antecipar a entrada no mercado de trabalho, priorizando retornos imediatos em detrimento da qualificação de longo prazo (Card, 2001).

Empiricamente, verifica-se estabilidade na retenção entre 15 e 17 anos, seguida de queda acentuada aos 18 e 19 anos (Figura 14), padrão coerente com decisões condicionadas por restrições materiais e oportunidades percebidas (Sen, 1999). Assim, a TRE permite discutir possíveis discontinuidades no fluxo de formação de capital humano em fases decisivas da juventude, em que a continuidade do estoque de talentos é um determinante da dinâmica inovativa territorial (Cooke, 2001; Asheim; Gertler, 2005).

Figura 14 - Taxa de Retenção ao longo de diferentes faixas etárias



Fonte: Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

A evasão do sistema ao atingir a maioridade tende a direcionar o jovem para funções na economia tradicional, podendo, contudo, limitar a sua inserção em setores que exigem competências alinhadas aos desafios da complexidade digital e ambiental.

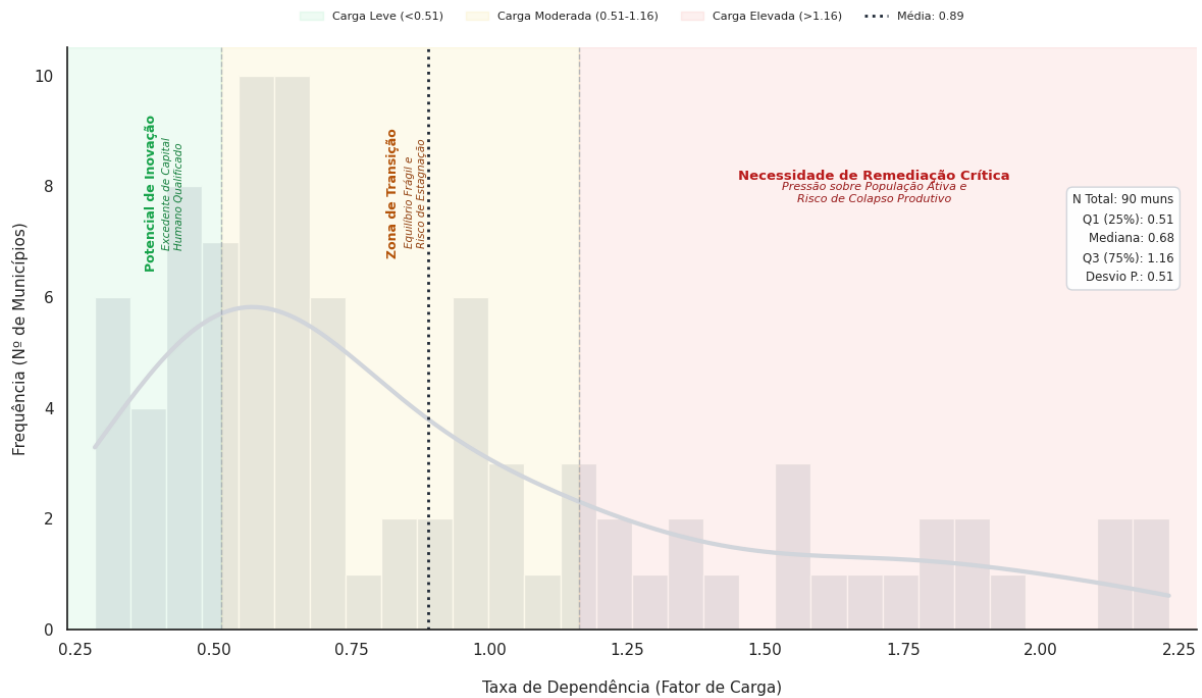
4.4.5 O custo da manutenção social

O Índice de Dependência Qualificada (IDQ) (Figura 15) relaciona o analfabetismo (dimensão passiva) à população ativa alfabetizada de 20 a 54 anos (dimensão produtiva). Sob este enquadramento, o indicador provê subsídios para analisar possíveis assimetrias na distribuição de capacidades educacionais e na sustentação interna do território.

Em contextos de menor densidade populacional, o IDQ tende a ser mais elevado, sugerindo processos de dependência estrutural ou aprisionamento institucional (Arthur, 1999). Nesses cenários, a coexistência de capital qualificado e exclusão funcional pode suscitar tensões na circulação do conhecimento. Tal configuração indica possíveis fricções na incorporação de saber pelo sistema produtivo (Cohen; Levinthal, 1990), especialmente ante assimetrias entre ativos educacionais e condições para sua mobilização.

Figura 15 - O fardo cognitivo regional: população dependente e força de trabalho alfabetizada
Índice de Dependência Qualificada (IDQ) nos Municípios

Razão: Não Alfabetizados Totais / População Ativa Alfabetizada | Estratificação por Quartis, com base nos dados do Censo IBGE, 2022



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: IDQ < 0.51: excedente de capital humano qualificado permite a alocação de recursos em P&D; IDQ < 1.16: marca um equilíbrio frágil entre capacidade produtiva e demanda social; IDQ > 1.16: passivo educacional atua como um limitador estrutural ao desenvolvimento de verticais.

Dessa forma, os resultados sugerem que territórios na zona de remediação poderiam se beneficiar de políticas voltadas à alfabetização de adultos e ao fortalecimento da rede de proteção social, visando atenuar as vulnerabilidades identificadas.

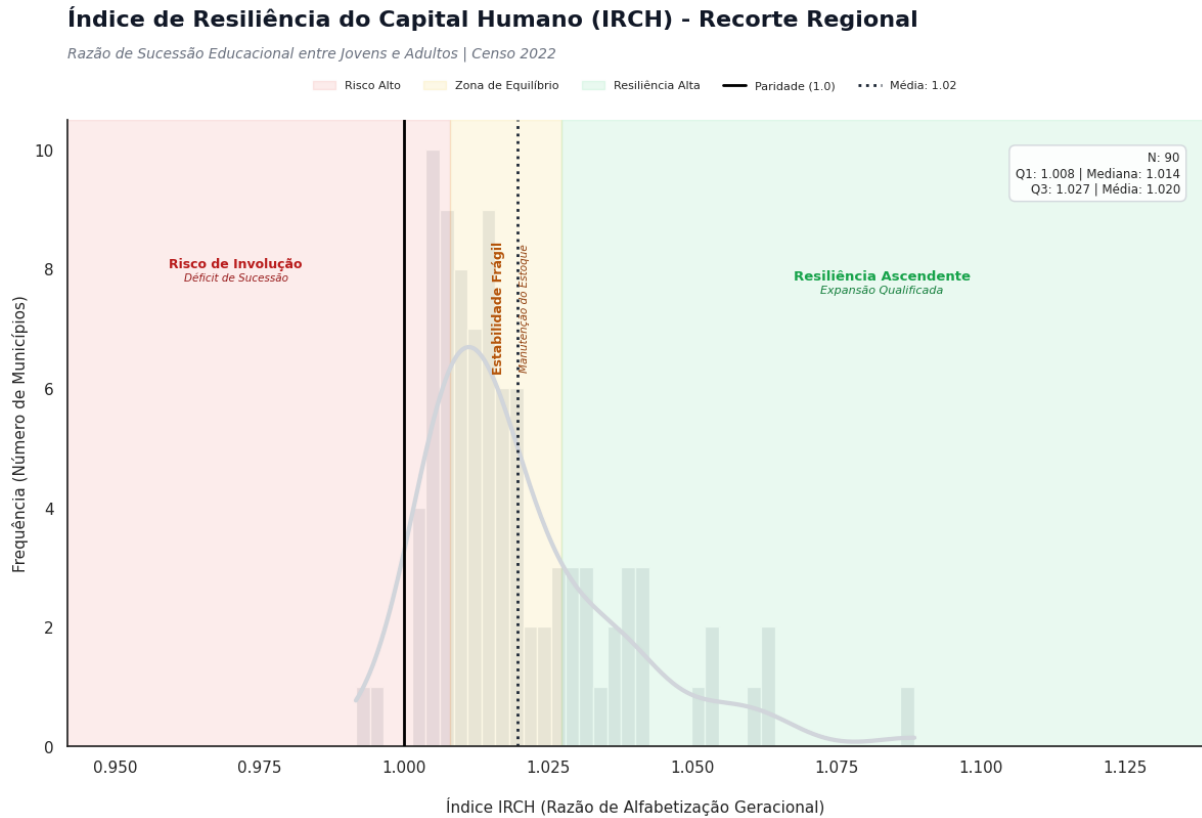
4.4.6 A dinâmica intergeracional: qualificação juvenil e a garantia da sucessão econômica

O Índice de Resiliência do Capital Humano (IRCH) (Figura 16) relaciona o nível de instrução da coorte jovem (15 a 24 anos) ao da população adulta (25 a 64 anos), buscando evidenciar descontinuidades ou convergências intergeracionais na estrutura educacional.

Em municípios de menor densidade econômica, valores de IRCH superiores a 1,2 sugerem uma ampliação recente da escolarização entre os jovens, remetendo a dinâmicas de *catch-up* (Abramovitz, 1986) e a uma transição gradual no perfil de qualificação. Já em polos densos, com IRCH próximo de 1,0, a equivalência entre as coortes indica uma estabilidade relativa no estoque de capital humano (Nelson, 2018), deslocando a análise para a capacidade de atualização contínua frente a transformações tecnológicas (Schumpeter, 1997). Transversalmente, o IRCH atua como uma *proxy* da capacidade absorptiva (Cohen; Levinthal,

1990), sinalizando como a entrada de novas gerações qualificadas se articula com o estoque existente e indicando padrões de recomposição do capital humano ao longo do tempo.

Figura 16 - Dinâmica intergeracional do capital humano



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: $IRCH > 1,0$: indica que as novas gerações são mais instruídas que as anteriores. $IRCH = 1,0$: reflete a manutenção do padrão educacional entre gerações, sem ganhos marginais de qualificação. $IRCH < 1,0$: alerta para a degradação do capital humano, onde os jovens possuem menos instrução que os adultos, comprometendo a sucessão econômica.

O IRCH, portanto, fornece indícios sobre a configuração potencial de talentos no território.

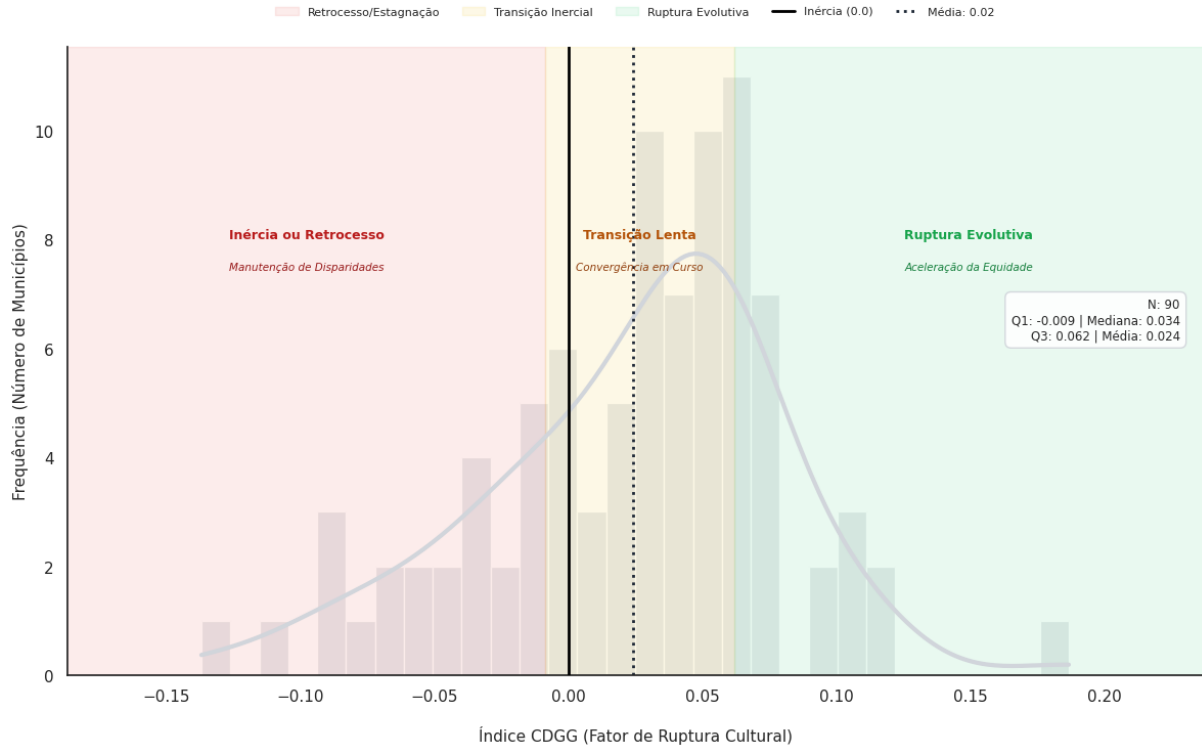
4.4.7 A velocidade da mudança social

O Coeficiente de Dinâmica de Gênero Geracional (CDGG) é proposto como uma aproximação empírica da abertura cultural a novas práticas e padrões sociais, comparando o hiato educacional de gênero entre diferentes coortes, em diálogo com as noções de dependência de trajetória e inércia institucional (Boschma, 2004). As configurações do CDGG (Figura 17) sugerem diferentes graus de continuidade intergeracional. Tais variações remetem a diferentes níveis de plasticidade social e adaptação institucional (Florida, 2002), além da evolução gradual de modelos mentais e instituições informais (North, 1990).

Figura 17 - Distribuição do coeficiente de dinâmica de gênero geracional

Coeficiente de Dispersão de Gênero Geracional (CDGG)

Aceleração da Ruptura Cultural: Redução do Gap de Gênero entre Jovens vs. Idosos | Dados do Censo, IBGE, 2022



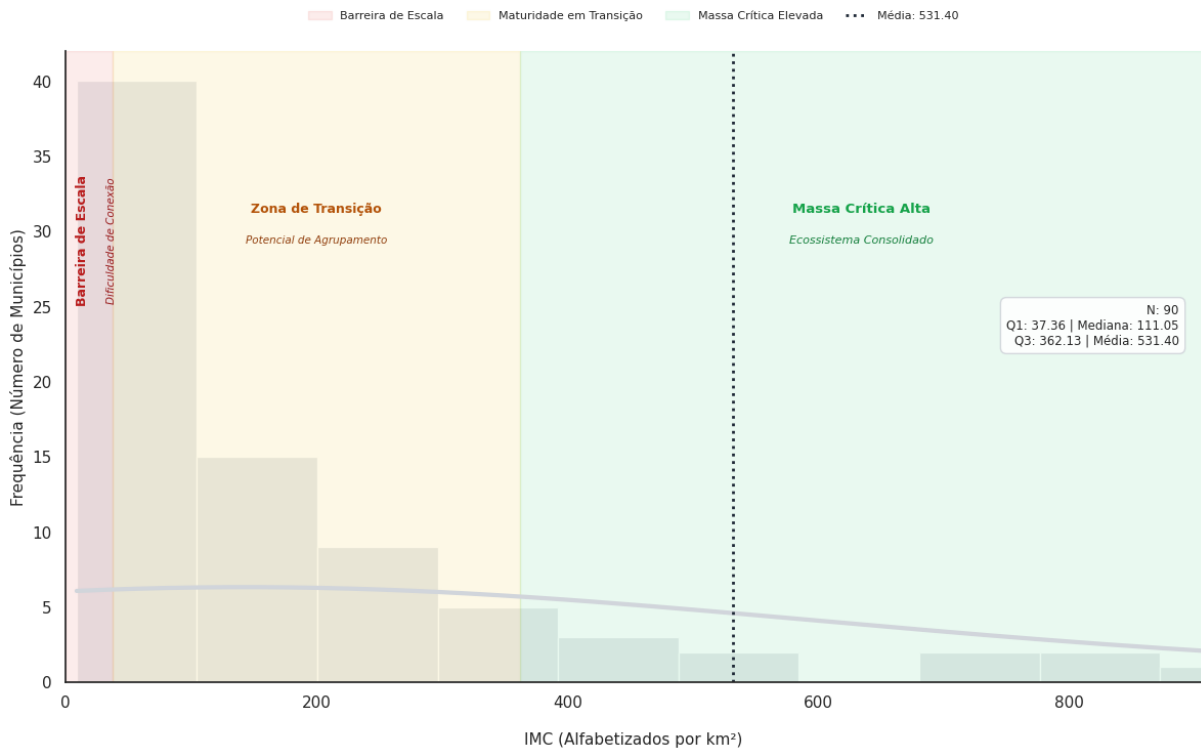
Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: $CDGG < 0$: indica que a desigualdade de gênero foi drasticamente reduzida ou invertida nas novas gerações em relação ao passado. $CDGG \approx 0$: Evidencia um território estagnado, onde os mesmos padrões de desigualdade observados na geração de 60+ anos persistem entre os jovens de 15 a 19 anos, indicando baixa plasticidade social. $CDGG > 0$: indica que o hiato de gênero é maior entre os jovens do que entre os idosos, sugerindo o surgimento de novas barreiras sociais ou falhas graves nas políticas de retenção escolar recentes.

Os resultados sugerem que territórios com maior inércia estrutural poderiam se beneficiar de intervenções de base social, indicando que a plasticidade social pode atuar como um elemento facilitador para processos de inovação de maior complexidade.

4.4.8 A densidade cognitiva do território

O Índice de Massa Crítica (IMC) mensura a densidade de alfabetização por quilômetro quadrado, atuando como uma *proxy* da capacidade de absorção tecnológica territorial (Cohen e Levinthal, 1990). O comportamento de cauda longa sugere uma concentração de capital humano qualificado em poucos polos, em que a maioria se situa em zonas de "Transição" ou "Barreira de Escala" (Figura 18).

Figura 18 - Densidade de alfabetizados por km²**Índice de Massa Crítica (IMC) Territorial**Densidade de Alfabetizados por km² | Concentração de Capital Humano no Território | Dados do Censo de 2022, Alfabetização, IBGE

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: IMC Elevado: Indica alta densidade de usuários aptos, com massa crítica para sustentar serviços públicos digitais e telemedicina sem barreiras severas de exclusão. IMC Moderado: A inovação ocorre, mas com maior resistência na curva de adoção. IMC Baixo: Soluções puramente digitais tendem ao isolamento, exigindo altos investimentos em educação básica e infraestrutura antes da implementação de camadas tecnológicas avançadas.

O diagnóstico aponta que a transposição mecânica de inovações desenvolvidas em centros densos para a periferia tende ao isolamento sistêmico se não houver massa crítica.

4.4.9 A arquitetura da resiliência social

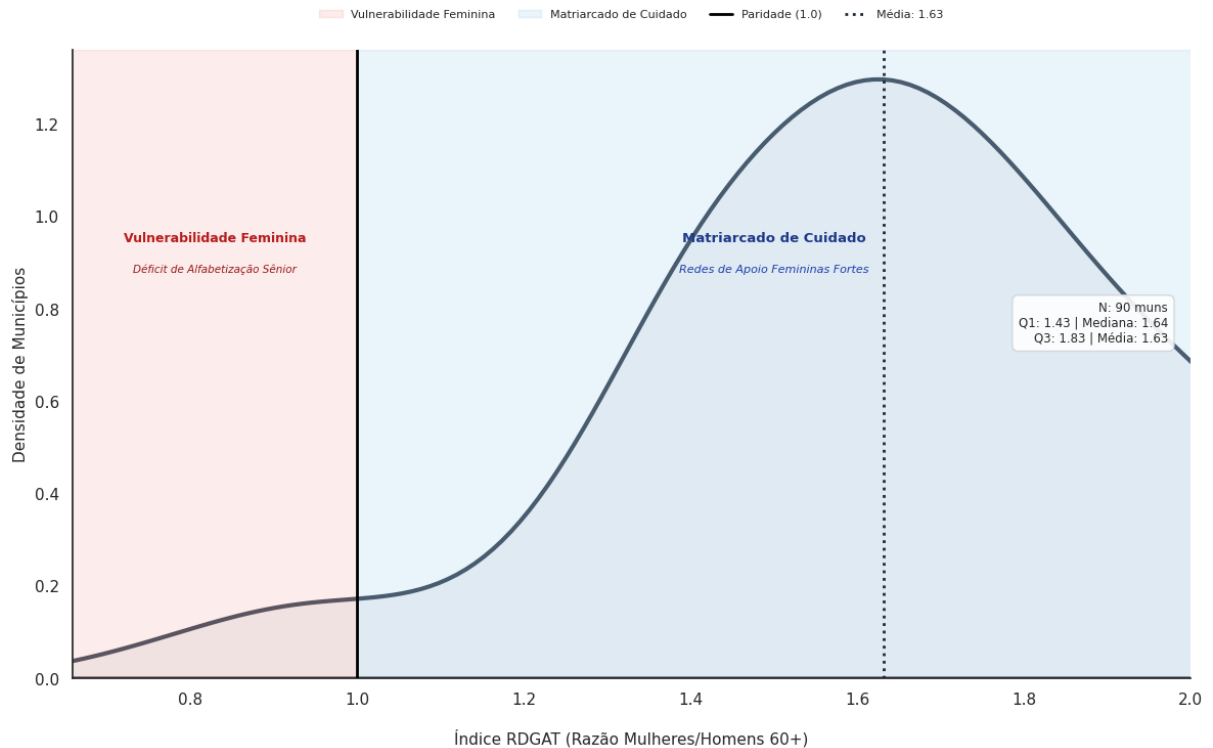
A análise sistêmica de um território pode ser ampliada ao considerar ativos de resiliência que não se limitam à força de trabalho economicamente ativa. Nesse contexto, a Razão de Dependência de Gênero na Alfabetização Tardia (RDGAT) (Figura 19) foca na população com 60 anos ou mais, explorando sua inserção no estoque de capital humano.

Sob essa perspectiva, a alfabetização na faixa sênior pode ser interpretada como um patamar mínimo de integração funcional, com implicações para a participação social e para a capacidade de adaptação a novas tecnologias. Em ERIs, tais dimensões dialogam com a importância da coesão social e da transmissão de valores como elementos estruturantes do sistema (Lundvall, 1992; Cassiolato, 2003).

Figura 19 - Distribuição do índice RDGAT

Razão de Dependência de Gênero na Alfabetização Tardia (RDGAT)

Razão: Mulheres Alfabetizadas 60+ / Homens Alfabetizados 60+ | Censo 2022



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de alfabetização do CENSO do IBGE (2022).

Nota: RDGAT > 1,0: base de conhecimento sênior é predominantemente feminina. RDGAT ≈ 1,0: equilíbrio no acesso à instrução, indicando que tanto homens quanto mulheres idosas contribuem de forma equânime para a memória e o suporte social do ecossistema. RDGAT < 1,0: pode indicar fragilidade nas redes de cuidado.

Os resultados empíricos sugerem uma predominância feminina, grupo que pode ser compreendido como um suporte relacional relevante na sustentação de redes familiares e comunitárias, contribuindo para a estabilidade social e para a absorção de vulnerabilidades sistêmicas (Putnam, 2000).

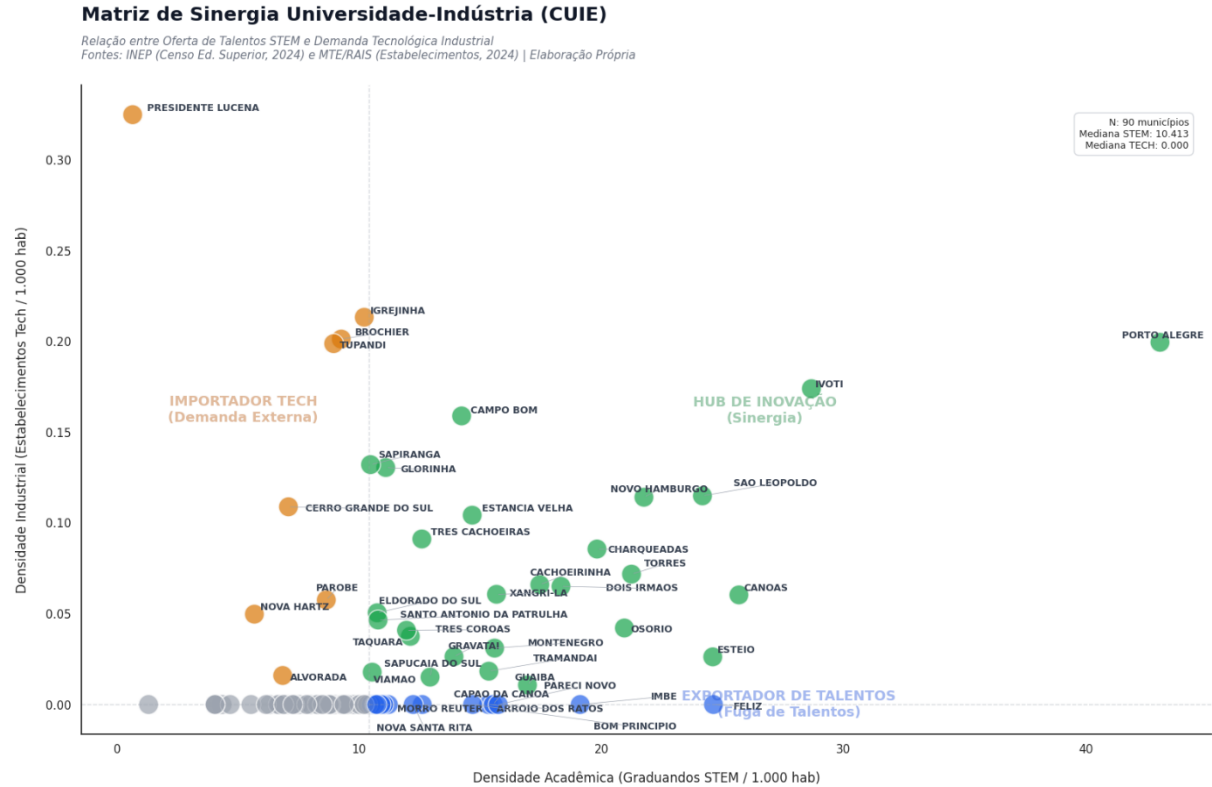
4.4.10 A matriz de sinergia Universidade-Indústria

A Conectividade Universidade-Indústria-Empresa (CUIE) atua como *proxy* dos fluxos de transbordamento de conhecimento, nos quais a co-localização favorece a circulação de conhecimento tácito e a integração dos mercados de trabalho (Lundvall, 1992). O indicador apresenta comportamento não linear, com crescimento acentuado apenas a partir de certos limiares de aglomeração, o que é compatível com a emergência de dinâmicas de *local buzz*, onde a proximidade intensifica as interações (Storper; Venables, 2004). Já valores reduzidos de CUIE sinalizam menor integração funcional entre a base acadêmica e a estrutura produtiva.

A métrica é composta pela Densidade de Talentos STEM (D_ Stem), que mensura a oferta de massa cinzenta tecnológica através do número de cursos de graduação e pós-

graduação em áreas STEM por mil habitantes, e pela Densidade de Empresas Tech (D_Tech), que quantifica a demanda por inovação ao relacionar o número de empresas de alta e média-alta intensidade tecnológica por mil habitantes.

Figura 20 - Matriz de sinergia Universidade-Indústria



Fonte: elaborado com base nos dados do CENSO da Educação Superior (INEP, 2024) e do MTE/RAIS (2024).
 Nota: CUIE > 1: O município possui uma concentração conjunta de Universidades (STEM) e Indústria (Tech) superior à média estadual. CUIE < 1: Indica um descasamento funcional. O município pode ser um polo puramente acadêmico (sem indústria para colaborar) ou um polo industrial sem base de pesquisa local.

A aplicação desta matriz permite classificar o território em: Hubs de Inovação (ex: São Leopoldo), com sinergia entre capital humano e demanda tecnológica; Importadores Tech (ex: Igrejinha), que possuem dinamismo industrial, mas carência de base acadêmica local; Exportadores de Talentos, que formam capital humano, mas enfrentam desafios na retenção desses ativos por limitações de absorção local (Florida, 2002). A presença de *outliers* sugere que estratégias de governança regional poderiam priorizar o fomento à conexão funcional entre os diferentes quadrantes.

4.4.11 O fluxo entre a formação de excelência e a absorção laboral STEM

O Índice de Conversão de Capital Humano (ICCH) (Figura 21) analisa a eficiência sistêmica do território ao relacionar a oferta de talentos formados em cursos de excelência (IGC

4 e 5) com sua absorção pelo mercado em áreas STEM. O indicador permite observar o grau de aderência entre a produção acadêmica de capital humano e sua incorporação pelo tecido produtivo local. Tal dinâmica remete a processos de apropriação de conhecimento e distribuição de valor entre territórios com distintos níveis de centralidade inovativa (Zucker; Darby, 2007).

Valores próximos ao equilíbrio ($ICCH \approx 1$) sugerem uma maior correspondência entre formação e absorção. Por outro lado, desvios podem indicar descompassos funcionais, seja por limitações de absorção do mercado, seja por assimetrias entre o perfil formativo e a estrutura produtiva. Metodologicamente, o ICCH utiliza o Quociente Locacional (QL) para inferir padrões de vocação territorial, mitigando distorções de magnitude absoluta.

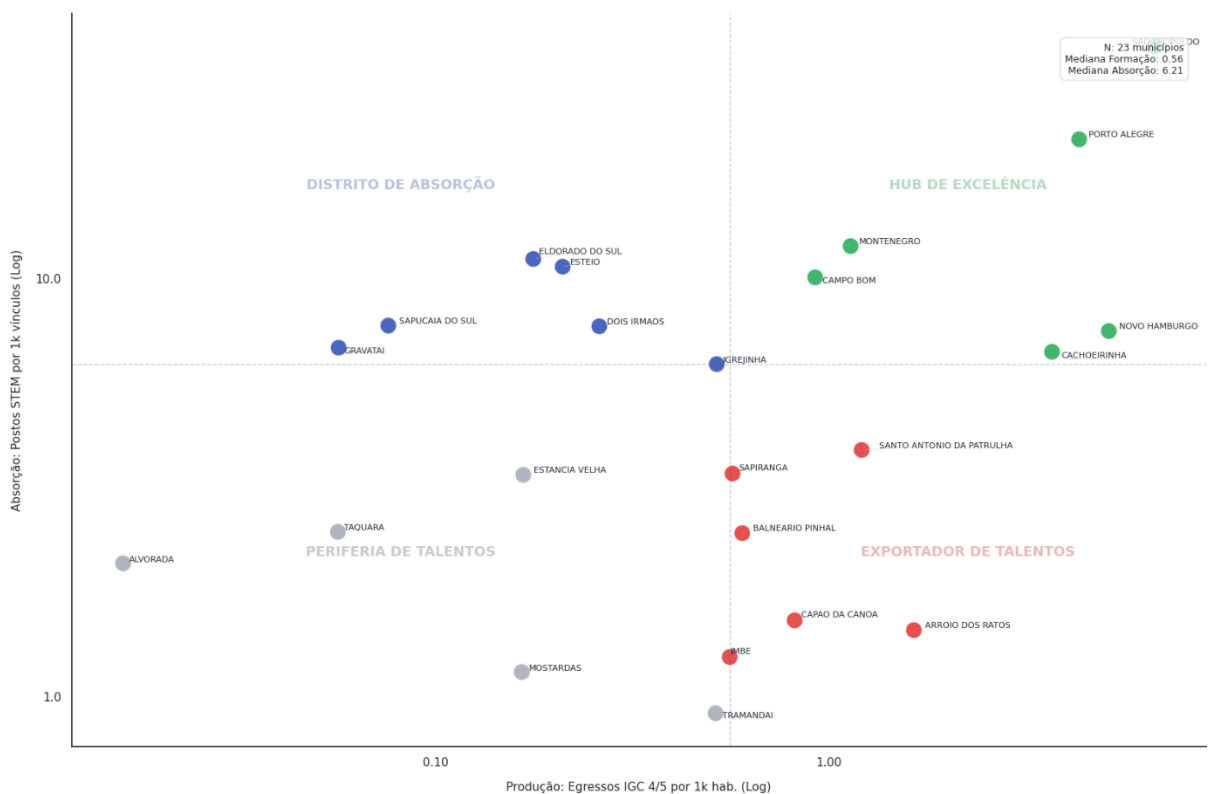
Densidade de Egressos de Excelência ($Q_{Egressos}^l$): Número de diplomados em cursos de IES com IGC 4 e 5 por 1.000 habitantes.

Densidade de Postos Técnico-Científicos ($Q_{Ocupação}^l$): Número de vínculos ativos em Classificação Brasileira de Ocupações (CBOs) de alta complexidade (áreas de exatas, engenharias e biociências) por 1.000 vínculos totais.

Figura 21 - *Output* acadêmico vs. demanda produtiva

Matriz de Tipologia de Capital Humano (ICCH)

Output Acadêmico de Talentos vs. Absorção Laboral STEM | Fontes: INEP (2024) e MTE/RAIS (2024)



Fonte: elaborado com base nos dados do CENSO da Educação Superior (INEP, 2024) e do MTE/RAIS (2024).

Nota: $ICCH > 1$: O município tem uma especialização em empregos técnicos superior à sua capacidade de formação. $ICCH < 1$: O município é excelente em formar (alta densidade de egressos de qualidade), mas não tem mercado local para absorvê-los.

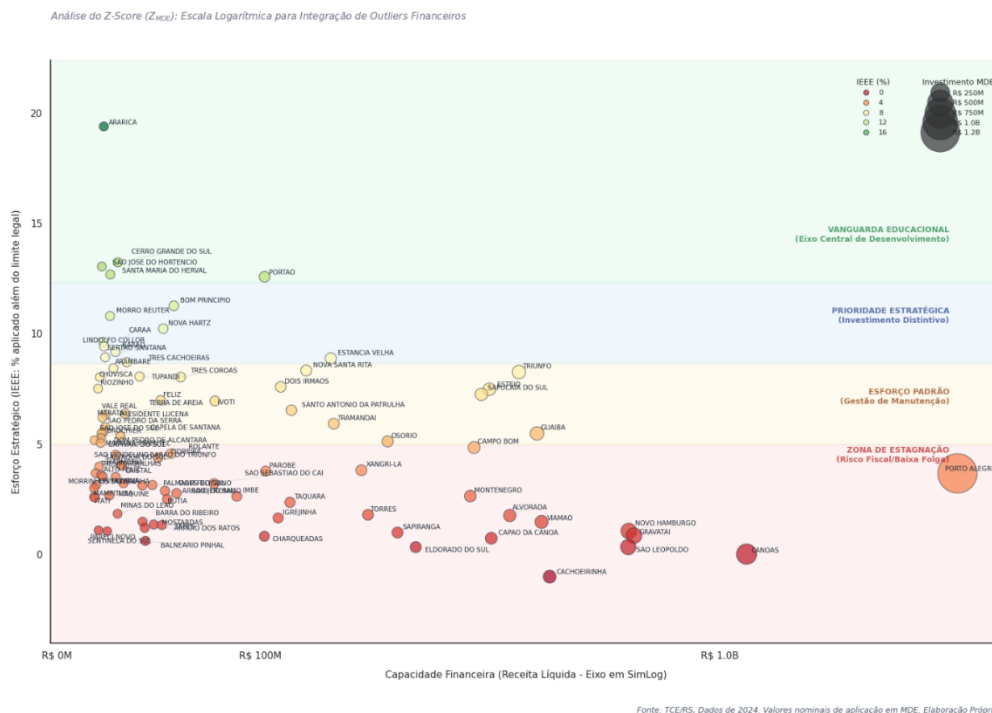
Enquanto os exportadores carecem de fomento empresarial para fixação de jovens, os distritos de absorção demandam a expansão da oferta de ensino superior.

4.4.12 O orçamento em educação como estratégia

O Índice de Esforço Educacional Estratégico (IEEE) (Figura 22) propõe uma leitura da prioridade de governança atribuída à educação a partir da reinterpretação dos dados de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino (MDE). Partindo da premissa de que o cumprimento do piso constitucional de 25% da receita representa um patamar de conformidade normativa (Lei nº 9.394/1996), o indicador busca capturar o grau de esforço adicional como expressão de priorização estratégica.

A mensuração do esforço fiscal é realizada com base no desvio da média estadual (μ), considerando a dispersão em termos de desvio padrão (σ), o que permite identificar municípios com níveis de investimento relativamente acima ou abaixo do comportamento agregado.

Figura 22 - Capacidade financeira vs. priorização: análise da aplicação de recursos em MDE
Matriz de Esforço Educacional e Capacidade Fiscal



Fonte: elaborado pelo autor com dados do TCE/RS (2024).

Nota: Zona de Estagnação ou Risco ($< \mu$): Municípios que investem abaixo da média estadual, orbitando o piso constitucional de 25%. Esforço Padrão ($\mu \pm 1\sigma$): Caracterizam-se por uma gestão de manutenção, focada na operação da rede escolar existente. Prioridade Estratégica ($+1\sigma \leq x \leq +2\sigma$): Municípios nesta faixa apresentam um esforço fiscal significativamente superior ao padrão regional. Vanguarda Educacional ($x > +2\sigma$): Representa os municípios que são pontos fora da curva.

A análise do IEEE sinaliza que municípios com elevado esforço fiscal podem apresentar condições favoráveis para a implementação de programas voltados à educação.

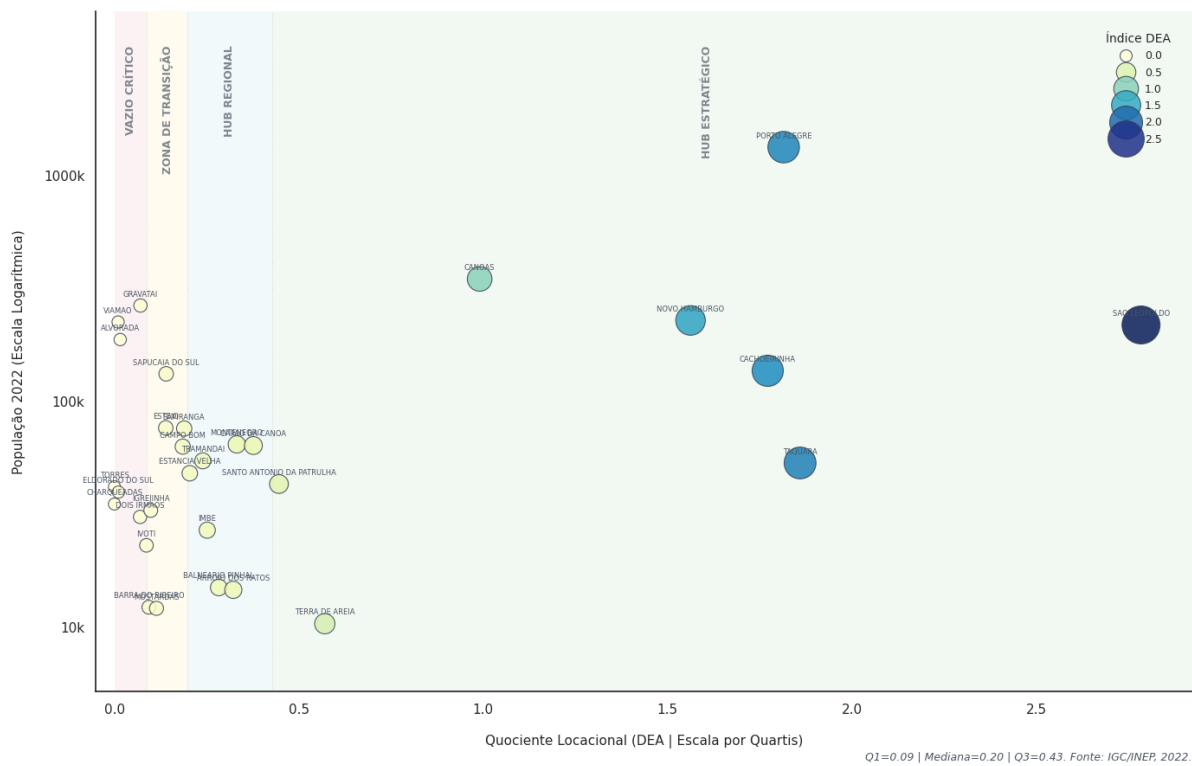
4.4.13 A hierarquia do saber

A Densidade de Excelência Acadêmica (DEA) (Figura 23) busca mensurar a capacidade instalada de produção de conhecimento, utilizando como base as matrículas em IES com IGC 4 e 5. Nesse enquadramento, o indicador atua como uma *proxy* da concentração de inteligência científica no território (Mazzucato, 2014). Ela é calculada pela razão de estudantes em IES de excelência por mil habitantes, aplicada ao Quociente Locacional (QL), sinalizando desvios relativos de concentração.

Figura 23 - Identificação de polos de alta concentração de ensino superior de qualidade

Distribuição da Densidade de Excelência Acadêmica (DEA)

Categorização baseada em Intervalos Interquartílicos (IQR) e Concentração Populacional



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do IGC/INEP (2022).

Dessa forma, a dinâmica de eficiência do ERI parece estar associada à existência de canais de mobilidade que favoreçam a difusão do conhecimento gerado nos *hubs* estratégicos para o tecido produtivo dos territórios periféricos.

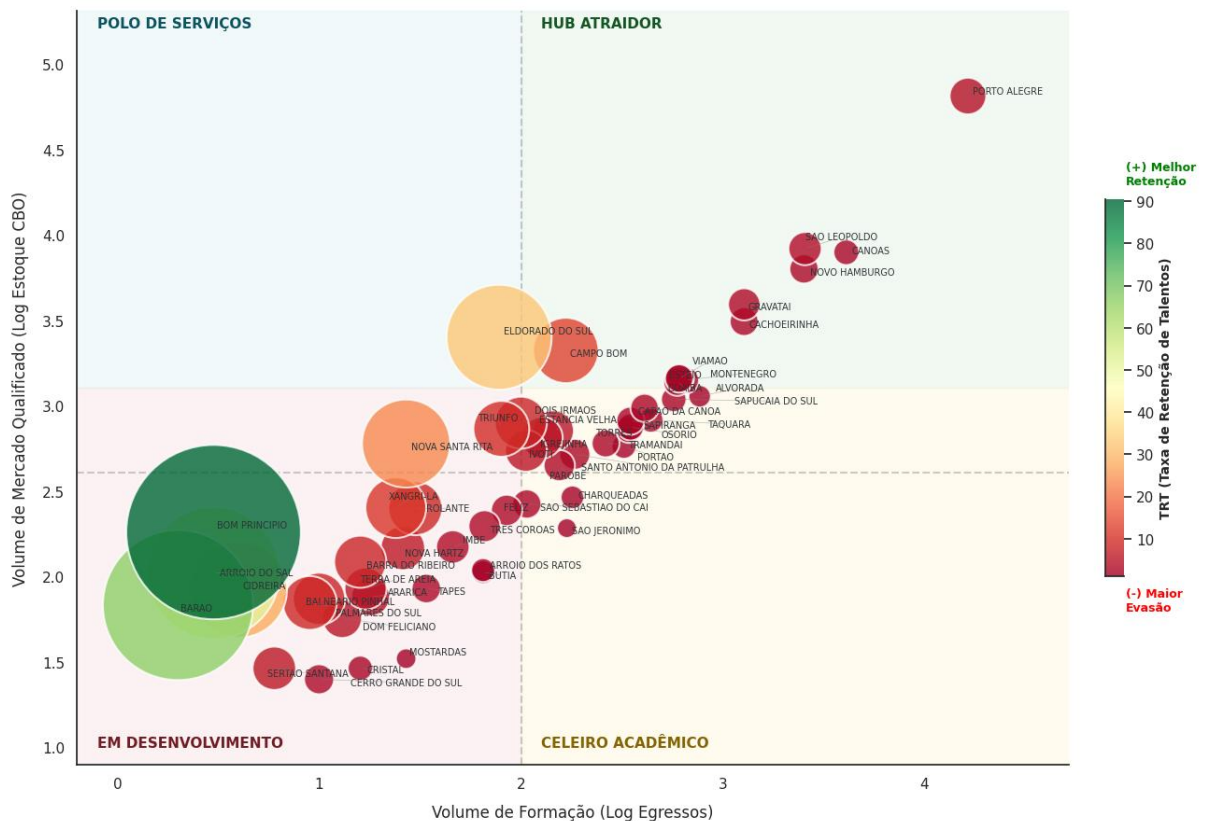
4.4.14 A matriz de maturidade do capital humano

A Taxa de Retenção de Talentos (TRT) é utilizada como uma aproximação da dinâmica de circulação do capital humano, relacionando a produção de conhecimento acadêmico com a capacidade de absorção pelo mercado de trabalho local. Territórios com elevada atração de talentos e baixa capacidade de formação endógena tendem a apresentar maior dependência de reposição externa de capital humano, o que pode ser interpretado como uma configuração assimétrica nos fluxos de conhecimento e trabalho (Florida, 2002). A Figura 24 evidencia uma dinâmica entre i) Ecossistemas Doadores (TRT < 1): polos acadêmicos formam mais talentos do que o mercado local absorve, e ii) Hubs Atraidores (TRT > 1): carência de base de formação própria, dependem da importação de talentos.

Figura 24 - A geografia da retenção: volumes de formação e absorção municipal

Matriz de Maturidade de Capital Humano: Formação vs. Absorção

Fonte: Microdados CAGED/RAIS (2024) e Censo da Educação Superior INEP (2024)



Fonte: elaborado com base nos dados CAGED/RAIS (2024) e Censo da Educação Superior (INEP) (2024).

O diagnóstico aponta para a necessidade de políticas de adensamento de demanda nas cidades universitárias, visando a retenção do jovem egresso, e de incentivo à formação em distritos industriais, visando reduzir a vulnerabilidade e a dependência externa.

4.4.15 O *hardware* da inovação: matriz de especialização da infraestrutura formativa

A Densidade de Infraestrutura Formativa (DIF) busca mensurar a vantagem comparativa municipal em que a infraestrutura favorece a produção e circulação de saberes. Ela é calculada pela densidade de unidades físicas de formação, ponderadas pela natureza da oferta (presencial ou virtual) e normalizada pela média estadual do Rio Grande do Sul. A espacialização desse indicador permite construir uma matriz de especialização territorial, evidenciando as diferentes funções exercidas pelos municípios na rede regional de formação.

Nesse arranjo, observam-se: os *Hubs* com elevada densidade física e digital que atuam como espaços de convergência entre formação e inovação aplicada; Âncoras tradicionais que sustentam a qualificação operacional por meio de infraestrutura presencial; dependentes digitais que possuem maior dependência em educação a distância, enquanto os Desertos formativos possuem baixa densidade em ambas as dimensões.

Figura 25 - Vantagem Comparativa na modalidade de Ensino Superior
DIF: Especialização da Infraestrutura Formativa Regional

Rótulos aplicados apenas a municípios com Vantagem Comparativa Revelada (QL > 1.0)



Fonte: elaborado com base nos dados do Censo da Educação Superior (INEP) (2024).

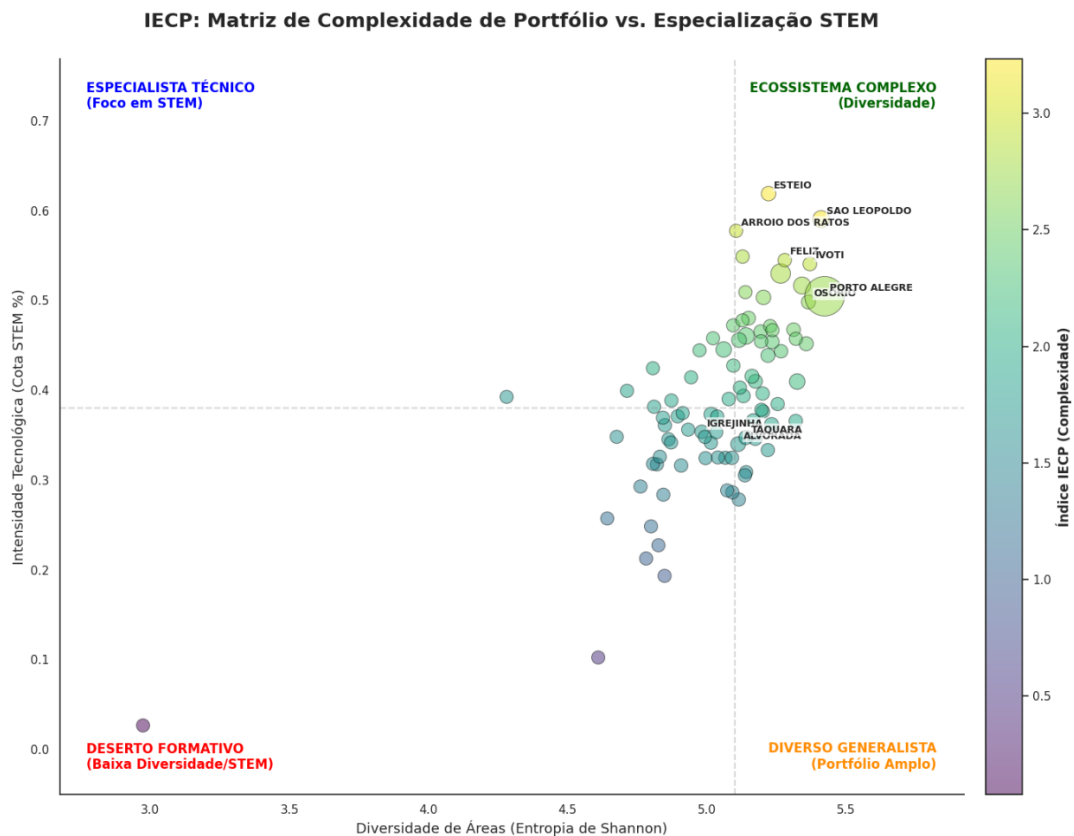
Os achados indicam que o estímulo a infraestruturas físicas de apoio pode configurar uma estratégia relevante para territórios subatendidos, fomentando interações.

4.4.16 A complexidade econômica do saber

O Índice de Especialização STEM e Complexidade de Portfólio (IECP) fundamenta-se na premissa de que a inovação de maior intensidade pode ser favorecida pela presença de áreas STEM, enquanto a diversidade do conhecimento tende a atuar como um mecanismo de resiliência frente a choques setoriais (Hausmann; Hidalgo, 2011).

A análise da Matriz de Complexidade de Portfólio (Figura 26) aponta territórios em: i) Alta Complexidade: a coexistência de diversidade e ativos STEM sugere potencial para a recombinação de conhecimentos e adaptação estrutural; ii) Diversidade sem Densidade: portfólios amplos, porém com possíveis limitações na geração de inovação radical; iii) Especialização: eficiência em áreas específicas, embora possa apresentar maior sensibilidade a mudanças estruturais; iv) Baixa Diversidade e Intensidade: estruturas que tendem a apresentar menor flexibilidade adaptativa.

Figura 26 – A sinergia entre diversidade acadêmica e intensidade tecnológica



Fonte: elaborado com base nos dados do Censo da Educação Superior (INEP) (2024).

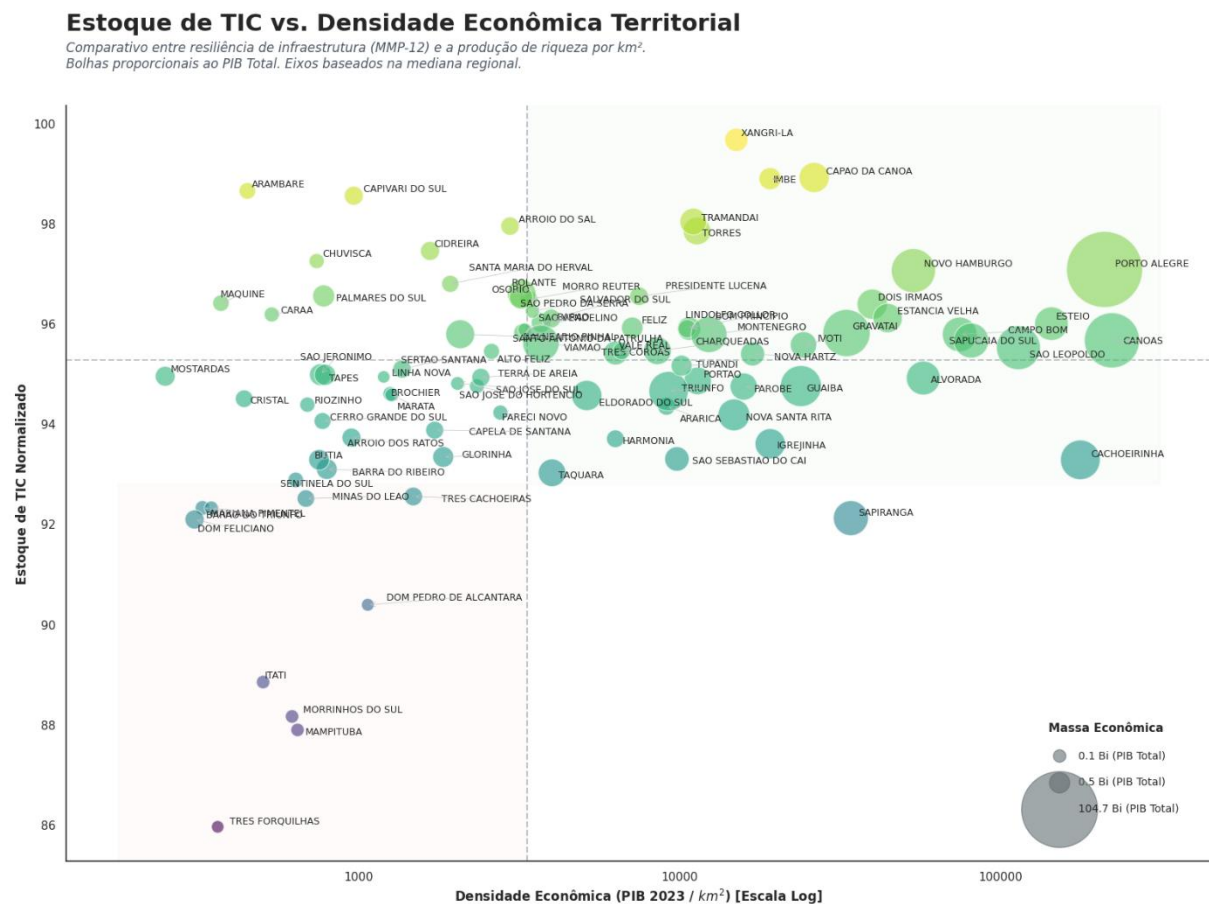
Níveis elevados de complexidade tendem a se concentrar em aglomerações metropolitanas; já em municípios menores, a vantagem comparativa costuma priorizar a coerência interna e a focalização frente às vocações locais.

4.4.17 A base digital da produtividade: análise do estoque de TIC e densidade econômica

O Estoque de Infraestrutura de TIC (ITIC) (Figura 27) fundamenta-se na perspectiva de que a conectividade atua como suporte transversal à geração de valor (Castells, 2000), mensurando-se a infraestrutura digital como elemento facilitador dos fluxos informacionais (Asheim; Gertler, 2005).

A Matriz de Densidade Digital sinaliza diferentes configurações territoriais, desde o Core Metropolitano, com infraestrutura robusta e compatível com a alta complexidade econômica, até a Potência Litorânea, cujo elevado estoque digital relativo indica potencial de atração para atividades intensivas em dados.

Figura 27 - A correlação entre o estoque de TIC e a densidade econômica territorial



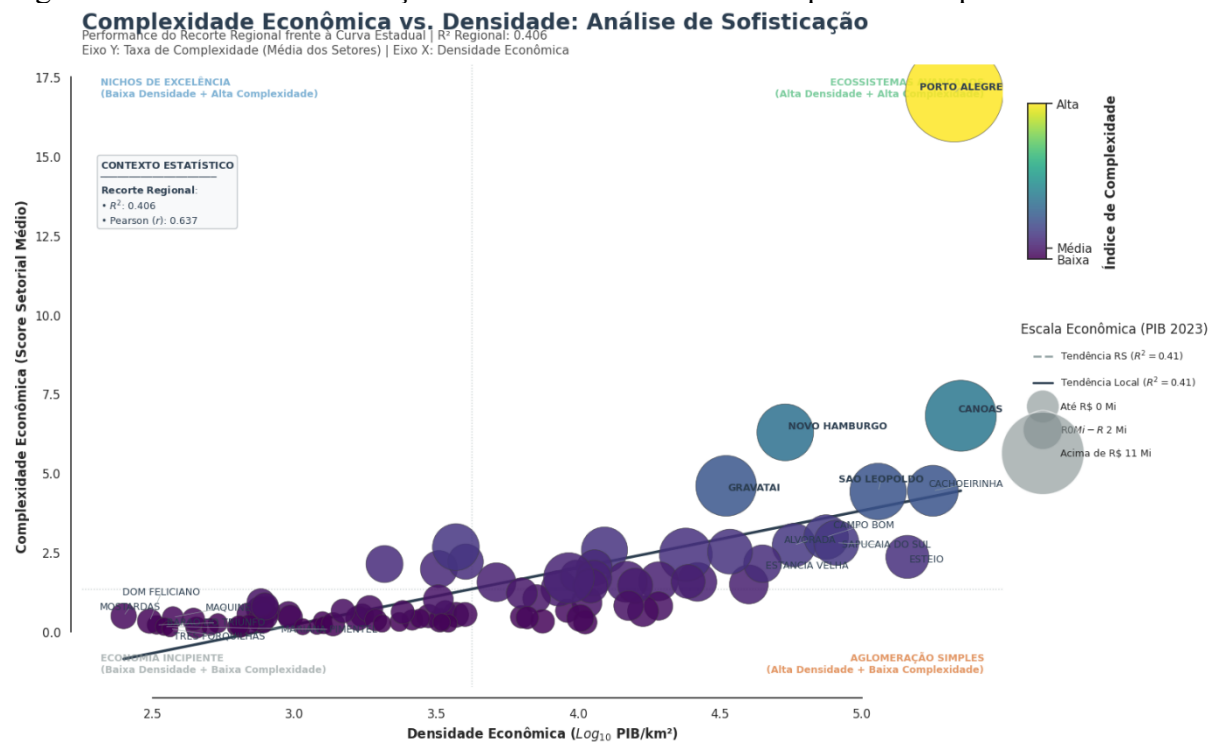
Fonte: elaborado com base nos dados da ANATEL (2025) e IBGE (2023).

A análise indica que o aprendizado regional (Boschma, 2005) costuma associar-se à ampliação da diversidade produtiva, fator que pode sustentar trajetórias de desenvolvimento mais complexas. Para municípios de menor porte, as evidências sugerem que esse processo prescinde da replicação integral da diversidade metropolitana, podendo ser potencializado pela inserção em redes regionais de interação que ampliem a circulação de conhecimento e fomentem a complexidade sistêmica.

4.4.20 A falácia do volume: relação entre densidade econômica e complexidade setorial

A Complexidade Setorial mensura a sofisticação de um ERI pela raridade das atividades econômicas locais (Hidalgo; Hausmann, 2009), atribuindo maior peso a setores menos frequentes. O índice de Complexidade Local é normalizado por população e área para isolar a dimensão qualitativa da economia. Os resultados indicam baixa correlação entre densidade empresarial e sofisticação tecnológica ($R^2 = 0,05$), sugerindo que o crescimento quantitativo, isoladamente, pode não elevar a complexidade econômica. Tal evidência é condizente com a literatura que posiciona a aglomeração como condição facilitadora, mas não suficiente, para o desenvolvimento baseado em conhecimento (Asheim; Gertler, 2005; Cooke, 2001).

Figura 30 - Matriz de sofisticação econômica: densidade de riqueza e complexidade setorial



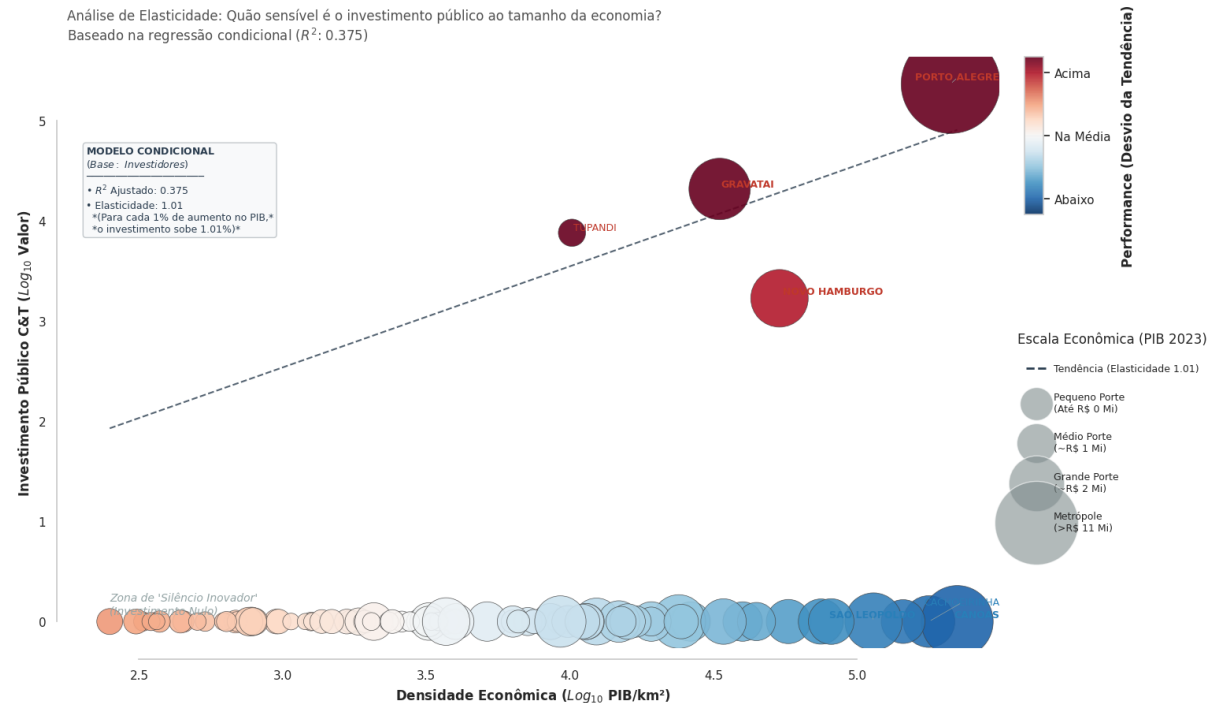
Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados RAIS/CAGED (2024) e IBGE (2023).

De forma geral, a análise indica que o fortalecimento da diversidade setorial e da sofisticação estrutural do tecido econômico pode configurar uma frente estratégica complementar ao estímulo de novas empresas.

4.4.21 Elasticidade do investimento público em C&T

Neste enquadramento, o setor público é compreendido como um possível mecanismo de absorção de riscos em estágios iniciais da inovação, especialmente sob incerteza tecnológica (Mazzucato, 2014). Essa dinâmica articula-se à literatura de crescimento urbano, na qual a expansão econômica pode apresentar efeitos não lineares associados à densidade (Bettencourt; West, 2007). O esforço municipal é observado sob três dimensões: a Sensibilidade Institucional, que analisa como diferentes portes respondem a incrementos em C&T; a Intencionalidade Política, que considera rubricas orçamentárias específicas como indicativo de potencial institucionalização (Rodrik, 2004); e o Modelo de Elasticidade, que utiliza regressões log-log para identificar desvios no comportamento esperado.

Figura 31 - Análise de elasticidade em função da densidade econômica municipal
Investimento em C&T acompanha o PIB em municípios de maior porte



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados TCE/RS (2024) e IBGE (2023).

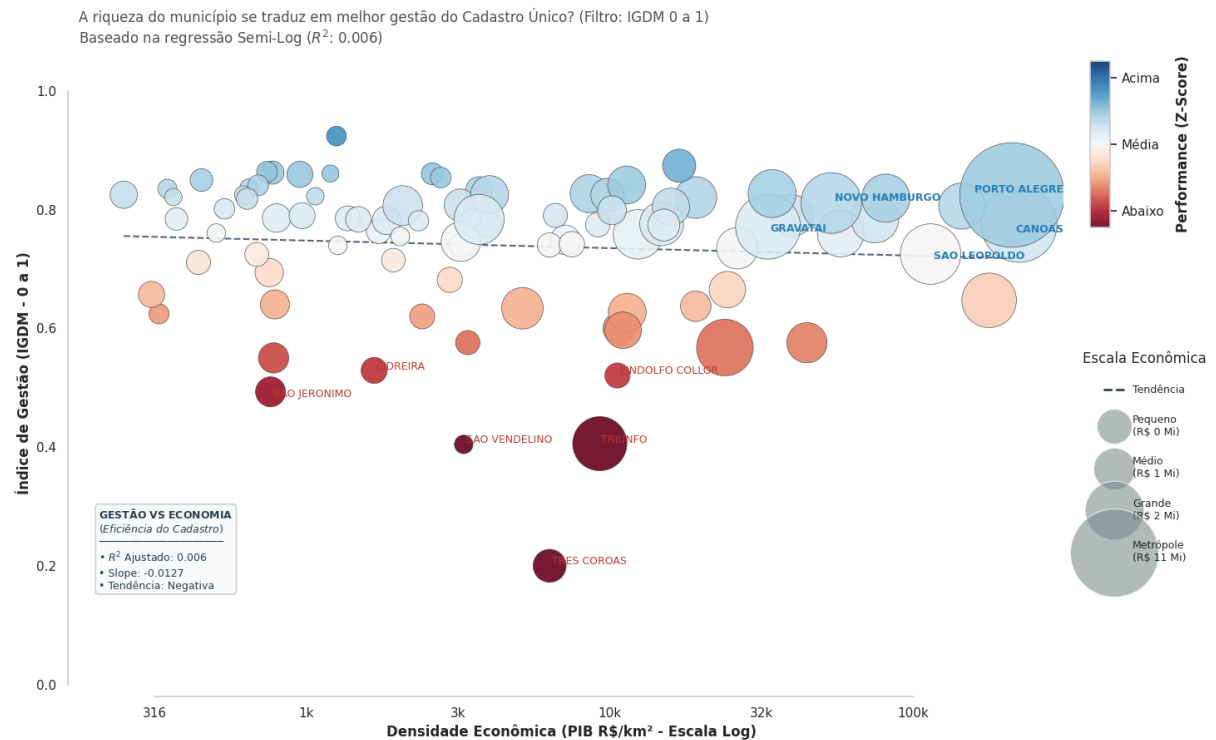
Nota: Estados Ativos ($\epsilon > 0$): Municípios que investem acima do esperado para o seu porte econômico. Zona de Silêncio ($\epsilon < 0$): Municípios onde o investimento público é inferior ao potencial econômico instalado.

4.4.22 Riqueza não é competência

A consolidação de um ERI articula-se à capacidade institucional de processar recursos em resultados, em linha com o conceito de capacidade absorptiva (Cohen; Levinthal, 1990). Nesse contexto, o Índice de Gestão Descentralizada (IGD-M) é utilizado como *proxy* para observar a proficiência administrativa na execução de políticas públicas.

O indicador fundamenta-se na hipótese de que limitações em processos básicos de gestão podem estar associadas a desafios na implementação de agendas complexas, como as de ciência, tecnologia e inovação. Assim, o IGD-M é compreendido como um sinalizador do estágio de maturidade gerencial municipal. Para avaliar a relação entre desempenho econômico e eficiência administrativa, aplicou-se um modelo *semi-log* (Figura 33). Os resultados indicam baixa capacidade explicativa da densidade econômica sobre a gestão ($R^2 = 0,006$), sugerindo uma possível independência entre o volume de riqueza e o desempenho institucional local. Tal padrão é condizente com a literatura que aborda o potencial desacoplamento entre crescimento econômico e qualidade das instituições (Auty, 2001), evidenciando a heterogeneidade entre as capacidades econômica e administrativa.

Figura 33 – O desempenho do IGDM vis-à-vis a densidade econômica municipal
Eficiência da Gestão Social (IGDM) vs. Densidade Econômica



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados de IGDM do MDS (2024) e IBGE (2023).

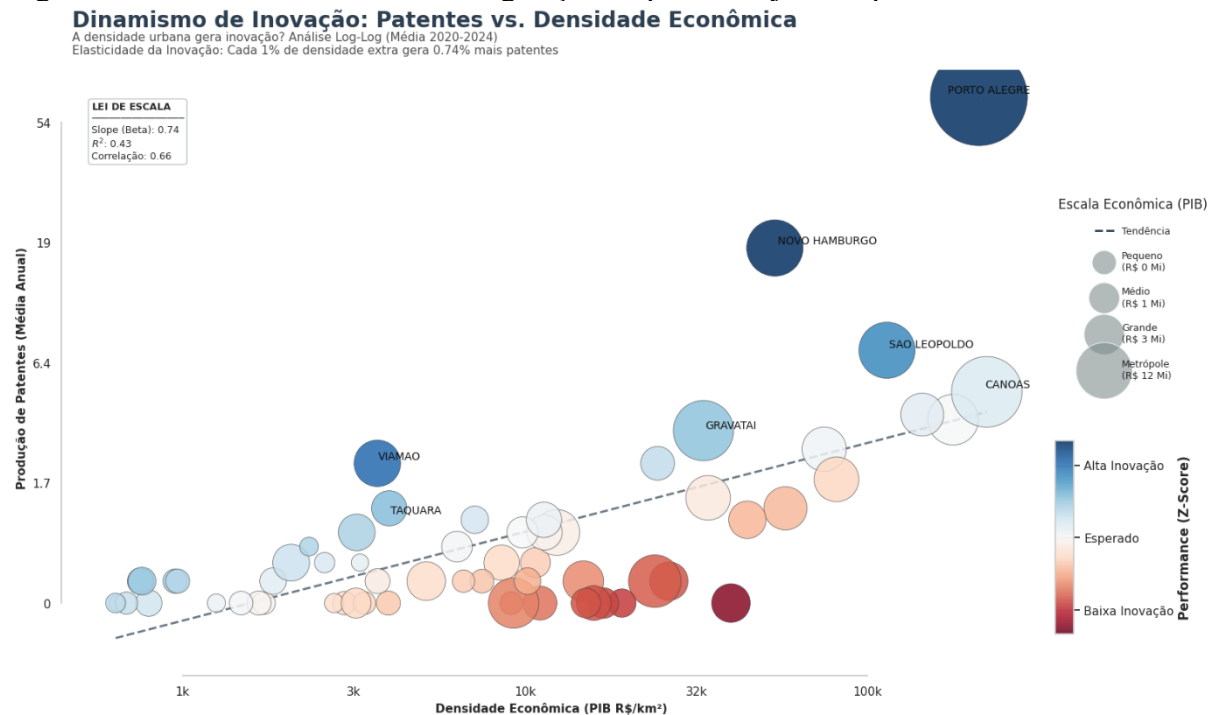
De forma geral, os resultados sugerem que o desempenho institucional pode estar associado a fatores como arranjos de governança e estrutura administrativa local.

4.4.23 A materialização do conhecimento: inovação e a escala de produção de patentes

A transição de um ERI para dinâmicas intensivas em conhecimento envolve a conversão de conhecimento tácito em ativos protegidos (Nonaka; Takeuchi, 1995), utilizando-se a produção de patentes como *proxy* da capacidade de geração de propriedade intelectual. A partir de uma transformação log-log, estimou-se a elasticidade entre produção de patentes e densidade econômica (Figura 34). O coeficiente de 0,74 indica uma relação positiva, embora não proporcional, o que sugere que o crescimento econômico pode não se traduzir integralmente em expansão equivalente da fronteira tecnológica.

Esse padrão indica que a produção de ativos intangíveis parece associada não apenas à escala econômica, mas a condições institucionais que busquem viabilizar a transformação de conhecimento em inovação. Conforme Lall (1992), desafios nesse processo podem influenciar a capacidade de captura de valor e a diversificação para além de estruturas produtivas baseadas em bens tangíveis.

Figura 34 - Polos de alta eficiência na geração de patentes ajustada pelo PIB



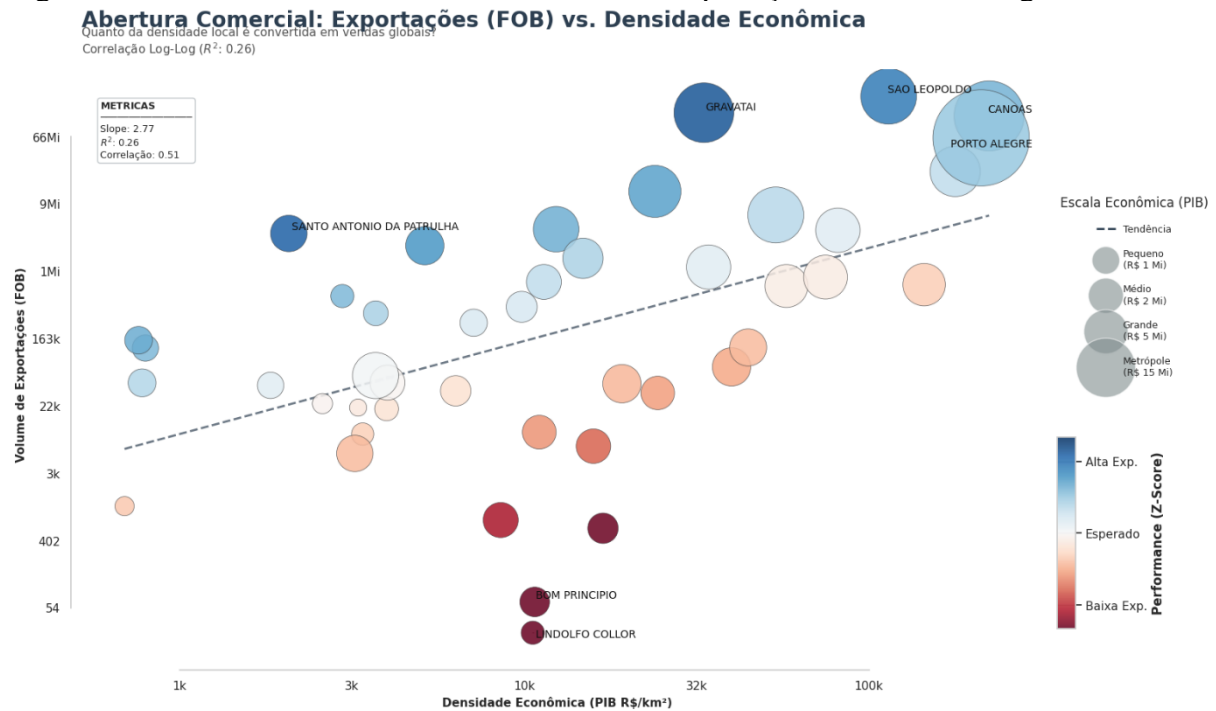
Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados do INPI (2020-2024) e IBGE (2023).

De forma geral, observa-se que a geração de propriedade intelectual pode ocorrer também em municípios de menor porte, indicando que o processo de materialização do conhecimento em ativos inovativos pode ser favorecido pela presença de condições institucionais e organizacionais adequadas.

4.4.24 A fronteira de competitividade: densidade econômica e exportações de alta tecnologia

A captura de valor via exportações de alta tecnologia auxilia na distinção entre estruturas intensivas em P&D e arranjos de menor complexidade (Figura 35), observando a inserção dos territórios em cadeias globais. A elasticidade de beta = 2,77 sugere retornos crescentes de escala (Bettencourt; West, 2007), indicando que variações na densidade econômica costumam associar-se a ganhos mais que proporcionais na inserção internacional tecnológica. A análise dos resíduos identifica municípios com desempenho superior ao esperado, o que pode estar associado à produção de bens de maior complexidade (Hidalgo; Hausmann, 2009). Esse padrão sugere possíveis efeitos de transbordamento, nos quais a exigência de mercados internacionais pode induzir ajustes na cadeia local, elevando requisitos de qualidade e coordenação (Jaffe, 1986).

Figura 35 - Conversão de densidade econômica em exportações de alta tecnologia



Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados da COMEXSTAT (2020-2024) e IBGE (2023).

A análise sugere que a exportação de alta tecnologia pode sinalizar a posição relativa dos territórios na economia do conhecimento. Em conjunto, as métricas apresentadas compõem uma estrutura de representação da complexidade econômica da MMLN, oferecendo subsídios empíricos para a modelagem e a exploração das hipóteses de pesquisa.

4.5 Validação metodológica e tratamento de variáveis

Os modelos (PLS-SEM, *Random Forest* e Rede Neural *Multi-Task*) utilizaram o mesmo conjunto de variáveis, preparadas via: (i) análise de multicolinearidade, retendo-se variáveis com $VIF < 5,0$ (Hair et al., 2019); e (ii) padronização por *Z-score* para garantir comparabilidade (Kline, 2016). A análise exploratória (Quadro 10) revelou assimetria e alta curtose (>40) em variáveis de infraestrutura, P&D e excelência acadêmica, sugerindo uma concentração de recursos que caracteriza um ERI polarizado. Para mitigar a variabilidade da variável SIR, aplicou-se a discretização (Finney; DiStefano, 2006) em escala ordinal de quatro níveis.

Quadro 10 - Correção de assimetria e curtose dos indicadores pela padronização dos dados

Dimensão	Índice	Indicador (Métrica)	α (Pré)	α (Pós)	κ (Pré)	κ (Pós)
D1	Recursos Humanos	Índice de Massa Crítica	2.85	1.98	7.2	3.11
		Retenção de Talentos (19-18)	-0.9	-0.15	12.73	2.03
		Equidade de Acesso	1.47	1.47	5.28	5.28
	Infraestrutura	SIR	9.34	5.57	88.2	52.72
	Rede de Atores	Taxa de Complexidade Econômica	5.11	1.34	34.38	2.23
D2	Barreiras Tec./Fin.	Investimento Público (DEA)	8.89	6.39	81.82	47.08
		CUIE (Univ-Indústria)	4.36	1.67	24.79	2.45
		ICCH (Investimento P&D)	6.85	6.14	47.95	37.96
	Base Legal	Densidade Jurídica	2.4	-1.16	9.67	2.24
		Gestão Pública (IGD-M)	-1.97	-1.97	5.21	5.21
D3	Prop. Intelectual	Taxa de Patentes	2.64	0.32	7.93	-0.17
	Conhecimento	Transferência/Maturidade (TRT)	4.75	3.13	24.48	10.18
D4	Econômico	Exportação Alta Tec (VL FOB)	-0.08	-0.08	3.02	3.02
		CAGR PIB	0.24	0.24	1.76	1.76
	Social	IVCM (Saúde e Bem-Estar)	0.52	0.52	2.17	2.17
		Suicídios	1.94	1.94	3.86	3.86
	Ambiental	Áreas Verdes	2.66	-0.81	11.51	0.46
		Emissões CO2	2.95	0.14	10.96	-0.4
		Focos de Calor	5.13	1.69	33.3	3.35

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Nota: D1: Facilitadores de valor; D2: Suportadores de valor; D3: Inovação Realizada; D4: Resultados da proposta de valor. α (Assimetria); κ (Curtose).

Após a aplicação do *StandardScaler*, procedeu-se ao teste VIF (Hair et al., 2019). Identificou-se que: i) Capacidade Humana: estabilidade moderada ($1,0 < VIF < 7,0$); ii) Infraestrutura e Mercado: multicolinearidade alta ($VIF > 10$) (Quadro 11) entre Taxa de Complexidade (18.1) e Taxa de Diversidade (17.8), mantendo-se a Complexidade por seu maior

poder explicativo; iii) Eixos Econômico, Saúde e Ambiental: baixa multicolinearidade ($VIF \approx 1,0$), indicando que as variáveis representam dimensões independentes.

Quadro 11 - Diagnóstico de Multicolinearidade por Eixo (VIF)

Eixo Temático	Variável (Indicador)	VIF
Capacidade Humana	Índice de Alfabetização Tardia	7.01
	Taxa de Dependência Qualificada	6.66
	Índice de Resiliência CH	3.93
	Índice de Equidade de Acesso	1.64
	Índice de Massa Crítica	1.44
	DEA	1.20
	Diferença (DIF)	1.17
	Retenção de Talentos (19-18)	1.04
Infraestrutura e Mercado	Taxa de Complexidade	18.12
	Taxa de Diversidade	17.83
	IECP	2.95
	SIR FAIXAS	2.31
	ICCH (Investimento P&D)	2.12
	CUIE (Univ-Indústria)	2.06
	Densidade Jurídica	2.05
	IEEE (Eficiência Gestão)	1.42
	Estoque TIC	1.31
IGD-M (Gestão Pública)	1.2	
Eixo Econômico	Taxa de Abertura de Empresas	2.38
	CAGR Emprego	1.67
	CAGR PIB	1.47
	% Empresas Gazelas	1.42
	VL FOB (Exportações)	1.4
	TRT (Transferência Tec)	1.21
	Taxa de Patentes	1.17
Eixo Saúde	Suicídios	1.09
	Obesidade	1.07
	Mortalidade DCNT	1.06
	Expectativa de Vida	1.05
	Mortalidade 15-50	1.01
Eixo Ambiental	Emissões CO2	1.56
	Focos de Calor	1.32
	Supressão de Vegetação	1.29
	Áreas Verdes	1.25
	IVCM	1.1

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Estes ajustes adequam-se aos modelos, cujos resultados são apresentados a seguir.

4.5.1 Modelo de referência explicativo: PLS-SEM

A qualidade do modelo de mensuração³ foi satisfatória: Alfa de Cronbach e Confiabilidade Composta (CR) acima de 0,70 na maioria dos construtos, Variância Média Extraída (AVE) > 0,50 (Tabela 7).

³Capacidade Inovadora: taxa_dependencia_qualificada, indice_resiliencia_ch, indice_equidade_acesso. Infra_Mercado: TAXA_COMPLEXIDADE, IECP, DENSIDADE_JURIDICA. Eixo_Economico: cagr_pib, percentual_empresas_gazelas.

Tabela 6 - Métricas de avaliação de desempenho do PLS-SEM

Eixo	Alfa de Cronbach	CR	Critério CR	AVE	Critério AVE
Capacidade Inovadora	0.919	0.849	> 0.70	0.661	> 0.50
Infraestrutura de Mercado	0.881	0.827	> 0.70	0.617	> 0.50
Eixo Econômico	0.828	0.687 ¹	> 0.70	0.570	> 0.50

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Nota: ¹mantido pelo alto alfa de Cronbach e AVE. CR: Confiabilidade composta.

AVE: Variância Média Extraída.

Para avaliar a validade discriminante dos construtos, foi aplicado o critério de Fornell-Larcker (Fornell e Larcker, 1981), em que cada pilar representa um fenômeno estatisticamente distinto (Tabela 8).

Tabela 7 - Avaliação Fornell-Larcker

	Capacidade Inovadora	Infraestrutura de Mercado	Eixo Econômico	Saúde (Mortalidade)	Ambiental (CO2)
Capacidade Inovadora	0.814				
Infraestrutura de Mercado	-0.524	0.792			
Eixo Econômico	0.294	-0.297	0.755		
Saúde	-0.263	-0.097	-0.119	1	
Ambiental (CO2)	-0.550	0.570	-0.361	-0.01	1

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Adicionalmente, foi verificada a validade discriminante pelo critério Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT) (Henseler *et al.*, 2015). Todos os valores ficaram abaixo de 0,85 (Tabela 9), e, portanto, as dimensões contribuem de forma independente para o modelo.

Tabela 8 - Resultados do HTMT

	Capacidade Inovadora	Infra Mercado	Eixo Econômico
Capacidade Inovadora	1		
Infra Mercado	0.629	1	
Eixo Econômico	0.439	0.476	1

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A análise do modelo estrutural sugere um ecossistema caracterizado por contradições entre crescimento e sustentabilidade. A Infraestrutura de Mercado, embora consolidada, indicou um efeito negativo sobre o Eixo Econômico (beta = -0,570), permitindo inferir possíveis retornos decrescentes do modelo tradicional, ao passo que sinaliza atuar como um direcionador de pressão Ambiental (beta = 0,663). Em contrapartida, a Capacidade Inovadora aponta para um papel de vetor de bem-estar social, associando-se de forma significativa à redução da mortalidade (Saúde, beta = -0,327). Contudo, os dados sugerem que essa dimensão ainda carece da massa crítica necessária para tracionar o PIB de maneira estatisticamente relevante ($p = 0,105$).

Tabela 9 - Relação estrutural de caminhos

Relação Estrutural (Caminhos)	Coefficiente (β)	Erro Padrão	Valor-p
Infra Mercado → Eixo Econômico	-0,570***	0,149	< 0,001
Capacidade Inovadora → Saúde	-0,327**	0,108	0,002
Infra Mercado → Ambiental	0,663***	0,085	< 0,001
Capacidade Inovadora → Eixo Econômico	-0,227	0,140	0,105

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Notas: *** significância ao nível de 0,1% ($p < 0,001$); ** significância ao nível de 1% ($p < 0,01$); * significância ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Capacidade Inovadora: construto latente formado por *tic_estoque_norm*, *sir_faixas*, *taxa_complexidade*, *taxa_diversidade*, *densidade_juridica*, *taxa_patentes* e *trt*. Saúde (Eixo Sistêmico/Social): construto latente representado por *expectativa_vida*, *mortalidade_15_50*, *mortalidade_dcmt*, *obesidade*, *suicidios*, *ieec*, *iecp* e *cuie*. Ambiental: construto latente formado por *areas_verdes*, *emissoes_co2*, *focos_calor*, *supressao_vegetacao* e *ivcm*. Eixo Econômico: construto latente formado por *cagr_pib*, *cagr_emprego*, *taxa_abertura_empresas*, *percentual_empresas_gazelas*, *vl_fob*, *dea* e *dif*.

Conclui-se que, embora o PLS-SEM forneça uma estrutura explicativa sobre as trajetórias regionais, o desempenho preditivo negativo ($R^2 = -0,1119$) indica limitações de abordagens estritamente lineares para representar a dinâmica dos ERIs. Essa dificuldade do modelo em antecipar variações sugere que nós críticos — como a conversão de inovação em crescimento — podem operar sob dependências não lineares ou efeitos de limiar. Assim, para investigar se essa fragilidade preditiva advém da especificação do modelo ou da natureza dos indicadores, a seção seguinte utiliza o *Random Forest Regressor* como *benchmark* não paramétrico. O objetivo é testar se a flexibilidade das árvores de decisão e a captura de interações de alta ordem podem oferecer um ajuste superior à realidade empírica observada.

4.5.2 Benchmark não-linear: RandomForest

Implementou-se o algoritmo *Random Forest Regressor* (Breiman, 2001) via *scikit-learn* (Pedregosa et al., 2011). A técnica fundamenta-se em sua robustez para lidar com alta dimensionalidade e relações não lineares, capturando interações complexas sem a necessidade de pressupostos de normalidade (Hastie; Tibshirani; Friedman, 2009).

O modelo oferece uma medida de Importância das Variáveis baseada na redução da impureza de Gini, auxiliando na identificação dos indicadores com maior poder de partição dos dados. Essa funcionalidade pode atuar como um diagnóstico para a hierarquização de políticas públicas (James et al., 2013). O treinamento utilizou os mesmos parâmetros do PLS-SEM, adotando-se validação cruzada de *5 folds* para assegurar a estabilidade das estimativas (Tabela 10).

Tabela 10 - Resultados das métricas de desempenho em cada *Fold*

FOLD	R ²	MAE	RMSE
1	-0.2170	2.3663	3.4487
2	-0.1516	2.0421	2.3539
3	-0.0493	2.5273	2.9021
4	-1.4293	2.6711	3.6842
5	-0.1079	2.533	3.3939
Média	-0.3910 ± 0.5836	2.4279 ± 0.229	3.1565 ± 0.487

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Notas: MAE: Erro médio absoluto. RMSE: Erro quadrado médio.

Hiperparâmetros: 500 árvores, max_depth=12,
min_samples_split=5, min_samples_leaf=2.

O R² médio negativo (-0.3910) indica que o *Random Forest* não superou o modelo de linha de base, refletindo os desafios estruturais do conjunto de dados. Além disso, modelos baseados em árvores tendem a sofrer com a fragmentação do espaço de busca em cenários de baixa relação sinal-ruído, onde a variância dos dados supera a capacidade de generalização.

Apesar da performance preditiva limitada, a importância das variáveis (Tabela 12) indica que o modelo priorizou a Densidade Jurídica (23,1%) e o Estoque de TIC (21,31%) como principais discriminantes. Sob uma ótica não linear, essa hierarquia sugere que a formalização institucional e a infraestrutura digital podem configurar fatores relevantes na distinção entre os diferentes estágios de desenvolvimento municipal.

Tabela 11 – Importância das variáveis do modelo RF

VARIÁVEL	IMPORTÂNCIA
Densidade Jurídica	0.2310
Estoque de TIC	0.2131
TRT	0.1977
Taxa de Diversidade	0.1399
Taxa de Patentes	0.1169
Taxa de Complexidade	0.1012
SIR	0.0003

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Em suma, a instabilidade do RF permite observar que a MMLN não apenas possui relações não-lineares, mas apresenta uma complexidade estrutural que modelos de partição simples não conseguem mapear integralmente. Para superar tanto a rigidez do PLS-SEM quanto a sensibilidade ao ruído do RF, a próxima seção introduz a arquitetura de Redes Neurais Artificiais (RNA).

4.5.3 Rede Neural Multi-Task (MLP-MTL)

Para superar as limitações de generalização observadas nos modelos lineares e de partição, implementou-se uma Rede Neural *Multi-Task* (MLP-MTL) com ponderação dinâmica

por incerteza homocedástica (Kendall *et al.*, 2018). Esta arquitetura permite que o modelo aprenda representações compartilhadas entre as quatro dimensões (Econômica, Social, Ambiental e Sistêmica), aproveitando as correlações cruzadas entre os eixos. A estrutura utiliza uma camada compartilhada para extração de características do ecossistema, seguida por cabeças independentes que especializam a predição para cada alvo específico, mitigando o risco de *overfitting* em amostras pequenas. Os hiperparâmetros encontram-se na Tabela 13. É importante destacar que a escolha do modelo MLP-MTL teve como finalidade a possibilidade de permitir que a importância relativa dos indicadores emergisse dos próprios dados, reduzindo a subjetividade inerente à atribuição manual de pesos.

Quadro 12 - Hiperparâmetros do modelo MLP-MTL

HIPERPARÂMETRO	VALOR	JUSTIFICATIVA
Taxa de aprendizado	0.001	Valor padrão Adam com estabilidade inicial
<i>Weight decay</i> (L2)	1×10^{-3}	Regularização para evitar <i>overfitting</i> em n pequeno
<i>Dropout</i>	0.1	Previne dominância de <i>features</i> isoladas
<i>Batch size</i>	16	Equilíbrio entre ruído estocástico e velocidade
Épocas máximas	1500	Com <i>early stopping</i> (<i>patience</i> =80)
Otimizador	Adam	Com <i>weight decay</i>
<i>Seed</i>	42	Reprodutibilidade
<i>Folds CV</i>	5	Validação cruzada espacial (<i>KFold shuffle=True</i>)

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

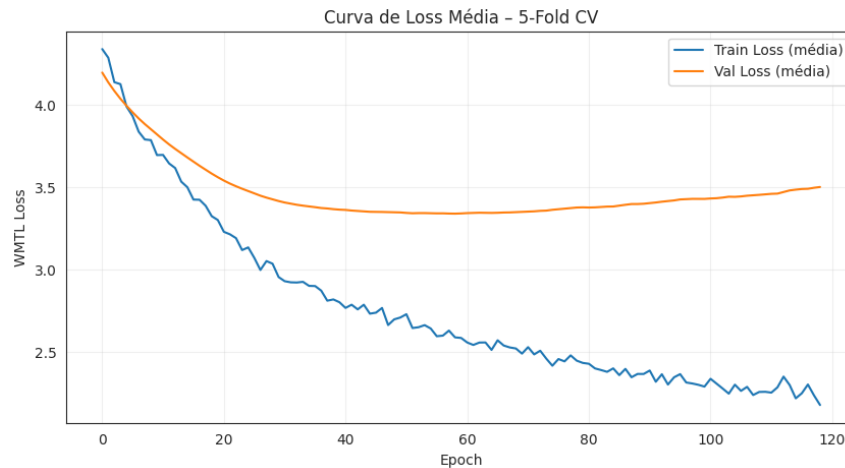
O treinamento via validação cruzada (5-fold) sugere uma convergência estável (Tabela 14). A dinâmica de aprendizagem dos pesos de tarefa indica que o modelo atribuiu maior importância relativa às dimensões Econômica e Social nos primeiros folds, ajustando-se automaticamente para equilibrar a perda entre tarefas com diferentes escalas e níveis de ruído.

Tabela 12 - Desempenho das RNA por *fold*

<i>Fold</i>	Melhor Val Loss	Épocas treinadas	Pesos finais aprendidos (Econ, Soc, Amb, Sist)
1	3.411	140	[1.141, 1.130, 1.209, 1.205]
2	1.9007	255	[1.584, 1.324, 1.382, 1.453]
3	3.2856	150	[1.201, 1.224, 1.198, 1.242]
4	3.6028	119	[1.055, 1.112, 1.193, 1.065]
5	4.0802	125	[1.246, 1.113, 1.146, 1.162]
Média	3.256 ± 0.816	157.8 ± 55.7	—

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A Figura 36 apresenta a curva de perda média (treino e validação) agregada nos 5 *fold*s. Observa-se convergência estável, com gap treino-validação controlado após ~100–150 épocas e sem evidência clara de *overfitting* tardio.

Figura 36 - Curva de *Loss* média por época - 5 *folde*s

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A análise de importância relativa (Tabela 15) define a Taxa de Complexidade como o principal direcionador do ecossistema (51,88%). Contudo, ao decompor essas contribuições via SHAP (Tabela 17), observa-se uma dinâmica mais refinada: enquanto a Complexidade domina o eixo Econômico, a Taxa de Diversidade assume papel protagonista na dimensão Ambiental (38%) e Social (30,3%). Este resultado sugere que a sofisticação produtiva gera riqueza, mas é a diversidade de atores que garante a resiliência e a sustentabilidade do território, validando a Hipótese H1 sob uma perspectiva multidimensional.

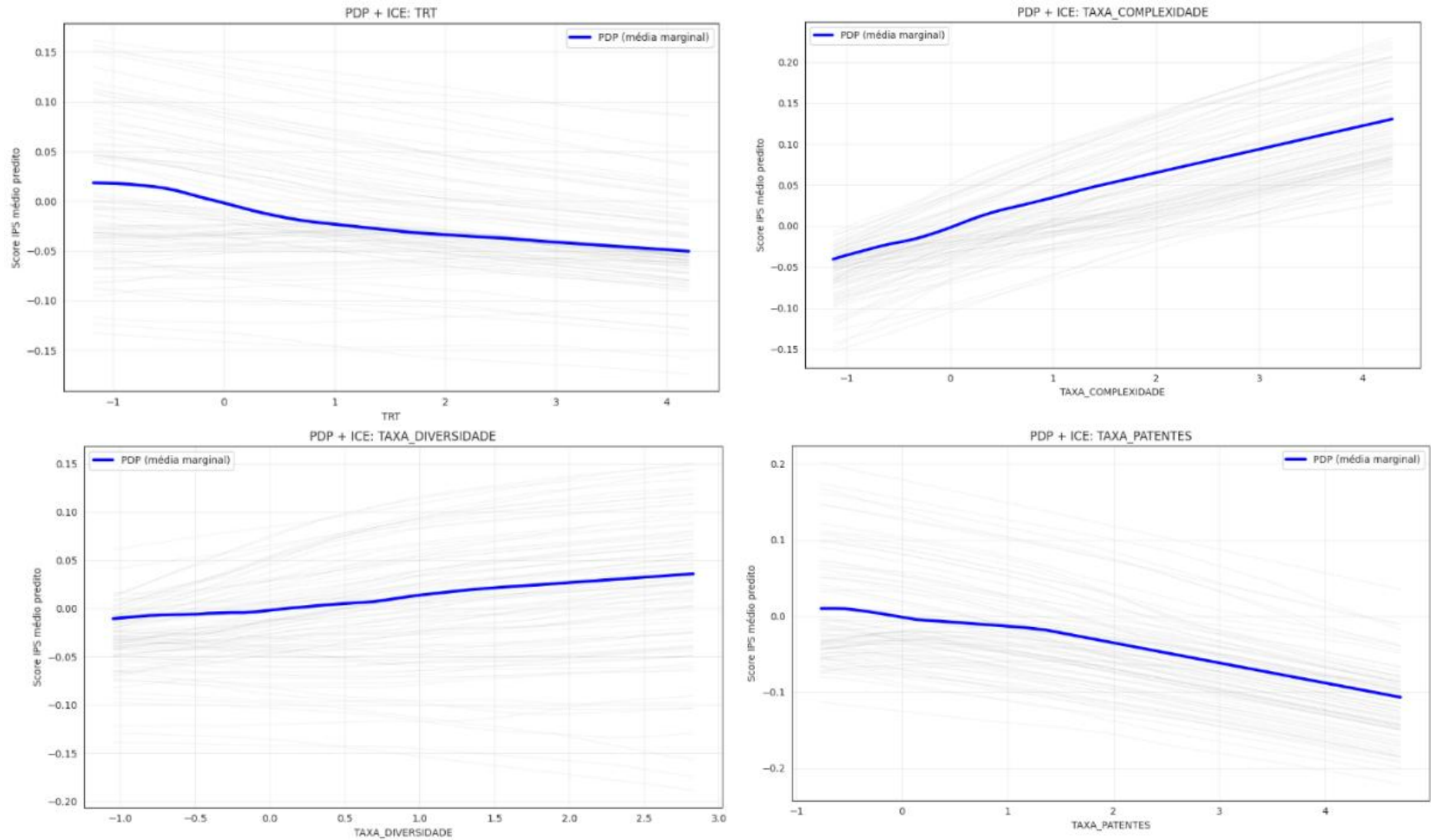
Tabela 13 - Importância de variáveis pelo RNA

Variável	Importância Média	Desvio padrão	Normalizado (%)
Taxa de complexidade	0.7942	0.0896	51.88
Taxa de diversidade	0.2795	0.042	18.26
Taxa de patentes	0.2198	0.0276	14.35
Densidade jurídica	0.0936	0.0088	6.11
TRT	0.0783	0.0156	5.11
Estoque TIC	0.0492	0.0052	3.21
SIR	0.0161	0.0064	1.05

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Os gráficos de PDP e ICE (Figura 37) sugerem que o incremento quantitativo de patentes ou a retenção de talentos, sem um ambiente capaz de convertê-los em valor econômico, pode gerar custos de oportunidade que reduzem o desempenho sistêmico global.

Figura 37 - Gráficos de Dependência Parcial (PDP) e Expectativa Condicional Individual (ICE)



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A trajetória de treinamento do modelo (Quadro 13) evidencia uma convergência com redução de 68% na função de perda ao longo de 1.500 épocas. A aplicação da Regularização Ridge (L2) evitou o *overfitting*, promovendo o equilíbrio de pesos entre as dimensões.

Quadro 13 - Evolução do Treinamento e Convergência

Época (E)	Loss (Erro)	Evolução dos Pesos (Média)
0 (Início)	4.4622	0.999
500	2.0616	1.509
1000	1.6817	1.766
1500 (Fim)	1.393	1.895

Fonte: elaborado pelo autor (2026)

A Matriz de Elasticidade Pós-Ridge (Tabela 14) fornece subsídios para avaliar o impacto de cada insumo sobre as dimensões latentes do ecossistema. Como a elasticidade mensura a variação percentual esperada em cada eixo para cada 1% de incremento nos indicadores de esforço, a análise permite inferir o estágio de maturidade dos ativos de inovação, sugerindo a distinção entre regimes de retornos crescentes e eventuais pontos de saturação (Ahani et al., 2017).

Os resultados associados à H1 encontram alinhamento na Teoria da Complexidade Econômica de Hidalgo e Hausmann (2009), que propõem a sofisticação das capacidades produtivas — a Taxa de Complexidade — como um dos propulsores primários do crescimento regional. Ademais, a expressiva elasticidade da diversidade sobre o eixo social sugere aderência aos achados de Balland et al. (2019), que associam a pluralidade de domínios tecnológicos à resiliência socioeconômica. Por fim, a centralidade do Estoque TIC como multiplicador econômico mostra-se compatível com a tese de Katz e Callorda (2018) sobre o papel da infraestrutura digital como catalisadora de externalidades positivas.

No que tange à H2, os dados indicam que a densidade institucional local parece apresentar baixa eficiência na conversão de conhecimento em valor de mercado, fenômeno interpretado por Audretsch e Lehmann (2005) como um indicativo de falha na capacidade de absorção do ecossistema. Já o comportamento atípico da Taxa de Patentes (H3) sugere que o esforço de P&D pode estar gerando ativos de propriedade intelectual que, na ausência de um volume robusto de oportunidades de investimento local, tenderiam a resultar em externalidades negativas ou fuga de valor. Esse descompasso sinaliza dificuldades para que a inovação técnica se converta em bem-estar social imediato (Tidd; Bessant, 2020).

Tabela 14 - Matriz de Elasticidade Pós-Ridge

Indicador	Econômico	Social	Ambiental	Sistêmico
Estoque TIC	118.6882	-15.7764	-4.6642	1.231
SIR	-12.9426	22.7951	-2.2451	3.0917
Taxa de complexidade	250.8274	6.1716	33.7864	-15.4439
Taxa de diversidade	-32.4396	230.8256	-2.1667	-30.283
Densidade Jurídica	-14.7885	23.0502	1.8002	0.5492
Taxa de patentes	-5.7244	-140.9913	4.62	-9.743
TRT	-12.6283	9.601	15.4336	-0.6241

Fonte: elaborado pelo autor (2026)

Para garantir a transparência do modelo MLP-MTL e validar a consistência das previsões, aplicou-se uma abordagem combinada de explicabilidade pós-hoc, em que o uso de técnicas de *Explainable AI* (XAI) é relevante para tornar esse processo transparente, permitindo interpretar como cada indicador contribui para a mensuração do desempenho. Primeiramente, utilizou-se a biblioteca SHAP (Lundberg e Lee, 2017), via algoritmo *DeepExplainer*, para decompor as contribuições marginais de cada variável de entrada em cada uma das dimensões de saída. Dado o caráter multi-tarefa da rede, as contribuições foram agregadas pela média absoluta dos valores SHAP.

Complementarmente, foi aplicada a técnica de Importância por Permutação (Breiman, 2001), uma abordagem *model-agnostic* que mede a queda no coeficiente de determinação (R^2) ao embaralhar aleatoriamente os valores de uma variável, isolando sua relevância para a capacidade preditiva global do artefato. O cálculo foi executado com 15 repetições, assegurando a estabilidade estatística dos resultados apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Resultados SHAP (importância relativa média absoluta)

Variável	Econômico	Social	Ambiental	Sistêmico	Média
Taxa de Complexidade	31.9%	18.6%	29.0%	19.1%	24.7%
Taxa de Diversidade	31.0%	30.3%	38.0%	28.7%	32.0%
Densidade Jurídica	10.7%	12.6%	7.7%	17.6%	12.2%
Estoque TIC	9.2%	11.9%	7.7%	10.4%	9.8%
Taxa de Patentes	7.4%	11.4%	8.1%	11.1%	9.5%
TRT	7.0%	11.0%	6.7%	9.7%	8.6%
SIR	2.7%	4.3%	2.8%	3.3%	3.3%

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A análise conjunta da Tabela 15 permite concluir o teste das hipóteses desta pesquisa: Suporte Robusto à H1 (Complexidade e Diversidade): As variáveis Taxa de Diversidade (~32,0%) e Taxa de Complexidade (~24,7%) configuram-se como os principais vetores de mensuração de desempenho do ERI, representando mais de 55% da importância explicativa média. O protagonismo da diversidade no eixo Ambiental (38%) e da complexidade no eixo

Econômico (31,9%) indica que a sofisticação produtiva, aliada à pluralidade de atores, constitui um fator central no desempenho da MMLN.

Suporte Condicional à H2 (Retenção e Absorção): A variável TRT apresentou importância moderada e consistente (7% a 11%). O resultado sugere que a retenção de capital humano qualificado atua como um facilitador sistêmico, indicando que a relação entre densidade de empresas e IES pode depender de processos adicionais de conversão de conhecimento.

Suporte Moderado à H3 (Esforço em P&D): A Taxa de Patentes manteve contribuição estável (média de ~9,5%). Comparada às alavancas de complexidade, sinaliza que o esforço formal em P&D apresenta contribuição incremental, possivelmente influenciado pela ausência de indicadores diretos de oportunidades de investimento local.

Para consolidar esses *insights* em um diagnóstico aplicável, confrontou-se o desempenho das abordagens computacionais. A seção seguinte apresenta o Comparativo entre Modelos, sintetizando as métricas de precisão e erro que fundamentam a escolha da arquitetura de Redes Neurais como motor do artefato final.

4.6 Comparativo entre modelos

A comparação (Tabela 16) evidencia que a rede neural *multi-task* (MLP-MTL) apresenta o melhor desempenho preditivo (R^2 médio entre 0.68 e 0.74), superando tanto o *Random Forest* quanto o PLS-SEM em métricas de erro e variância explicada *out-of-fold*. O *Random Forest* exibiu R^2 negativo médio (-0.3910), indicando que não supera uma previsão pela média simples onde modelos baseados em árvores são particularmente sensíveis a *outliers* e multicolinearidade. O PLS-SEM, por sua vez, obteve R^2 preditivo médio de -0.1119 (com desvio-padrão baixo de 0.1057), refletindo sua natureza explicativa em vez de preditiva. Seu desempenho reforça a adequação para teste de hipóteses teóricas (H1–H3), mas evidencia a superioridade da abordagem neural para tarefas de predição em contextos com não-linearidades e *trade-offs* complexos.

Tabela 16 - Comparativo de desempenho entre os modelos

Modelo	R^2 médio (5-fold)	\pm std	MAE médio	RMSE médio
PLS-SEM (semopy)	-0.1119	± 0.1057	0.3027	0.3717
<i>Random Forest</i>	-0.3910	± 0.5836	~2.43	~3.16
Rede Neural (MLP-MTL)	0.68 – 0.74	–	~0.09–0.13	–

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Dessa forma, a convergência desses achados, aliada à generalização da MLP-MTL, justifica a escolha deste modelo para o desenvolvimento do artefato.

5 DIAGNÓSTICO REGIONAL EM DISCUSSÃO: A GEOGRAFIA DA COMPLEXIDADE NA MACRORREGIÃO METROPOLITANA E LITORAL NORTE

A Matriz de Desempenho dos Ecossistemas Regionais de Inovação (MDERI) (Figura 38) representa o estágio inicial de materialização do artefato proposto. A partir desta matriz, o conceito de desempenho de ERIs assume forma operacional, possibilitando sua posterior instanciação. Sua interpretação sugere uma cartografia das assimetrias da MMLN sob a ótica da complexidade econômica. A inclinação da linha de tendência e o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,457$), extraídos do modelo de redes neurais, indicam que o avanço social e o vigor econômico podem exercer pressão sobre o capital natural, a menos que sejam mediados por uma densidade institucional madura.

Em contrapartida, mais de 54% da variância do desempenho sistêmico não segue uma linearidade estrita. Esse resíduo estatístico sinaliza o espaço onde podem operar as idiossincrasias territoriais — as interdependências não transacionáveis (Storper, 1997). A dispersão na matriz sugere que convenções locais, cultura cívica e arranjos institucionais tácitos podem influenciar o desvio dos municípios em relação à média, situando-os em diferentes zonas de desempenho, independentemente do volume absoluto de capital investido.

A matriz, atuando como um simulador da Especialização Inteligente (Foray, 2014b; McCann; Ortega-Argilés, 2015), indica que o desenvolvimento regional tende a configurar-se como um campo de forças tensionado, onde a governança pode modular a conversão de insumos tecnológicos em bem-estar. A rede neural aponta que o dinamismo econômico da capital gaúcha pode estar operando em um regime de retornos marginais decrescentes nas dimensões ambiental e sistêmica. Este fenômeno de saturação sugere um possível ponto de inflexão no modelo de hipercentralização, o que remete ao conceito de *Regional Branching* (Boschma; Frenken, 2011; Balland et al., 2019) — uma diversificação de trajetórias que favoreça a transferência de competências tecnológicas para periferias emergentes.

Ao interpretar a composição visual — onde o tamanho da bolha representa o Vigor Econômico e a escala cromática mensura a Resiliência Sistêmica —, observa-se a manifestação da Espessura Institucional (Amin; Thrift, 1995). O modelo sugere que o vigor econômico desprovido de espessura institucional (tons avermelhados) pode configurar um fator de risco ecossistêmico, aproximando municípios de quadrantes de desenvolvimento predatório. Este

cenário é compatível com arranjos que atraem densidade de capital e geram emprego no curto prazo, mas podem apresentar dificuldades em ancorar o conhecimento localmente.

A matriz também ilustra possíveis efeitos de transbordamento e de sombra (Myrdal, 1957). A dualidade posicional entre Porto Alegre e municípios limítrofes sugere uma dinâmica núcleo-periferia: Canoas, por exemplo, parece absorver cargas ambientais e logísticas associadas ao vigor econômico metropolitano, refletindo um possível descompasso entre a matriz produtiva e as estruturas regulatórias (North, 1990; Storper, 1997). O algoritmo indica que a governança metropolitana pode não operar em sinergia orgânica, mas sob uma lógica de compensação, onde a resiliência do núcleo pode estar associada a externalidades da franja industrial, resultando em potenciais deseconomias de aglomeração (Richardson, 1973).

Nas zonas de transição, polos industriais maduros (ex. Caxias do Sul e Bento Gonçalves) apresentam posicionamentos que sugerem sintomas iniciais de *lock-in regional* (Grabher, 1993). O modelo sinaliza que o histórico dessas regiões, baseado em paradigmas tecnológicos mecatrônicos, pode ter gerado uma histerese institucional⁴. Essa trajetória pode tornar o ecossistema menos elástico para absorver tecnologias transversais, indicando a necessidade de processos de renovação de trajetória.

Por fim, a matriz destaca municípios com baixa complexidade industrial clássica (como Itati e Três Forquilhas) em patamares elevados de eficiência sociossistêmica, o que desafia o viés tecnocêntrico. Tais casos corroboram a perspectiva de bases de conhecimento diferenciadas (Asheim, 2019).

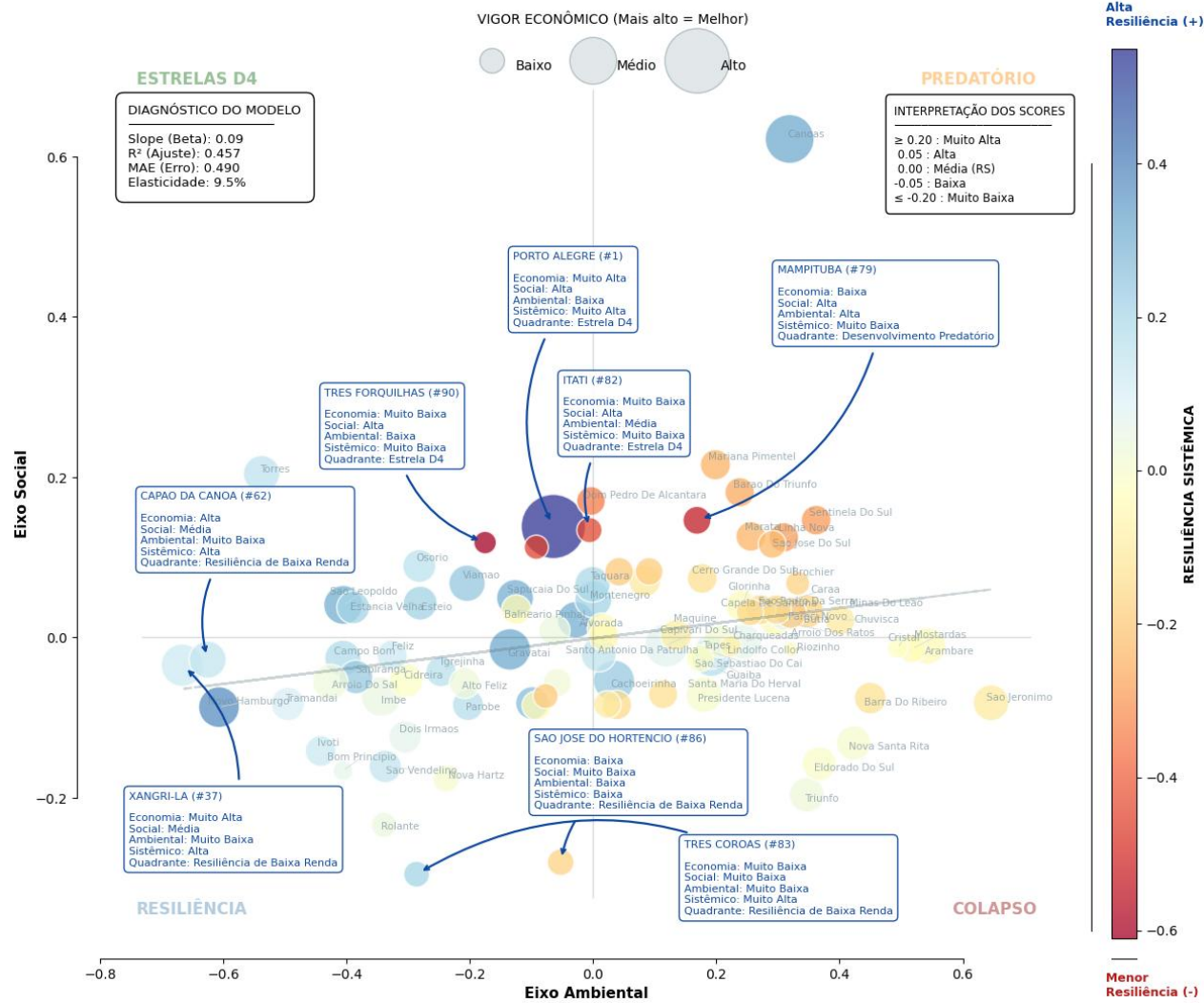
Em suma, este diagnóstico regional sugere que a evolução da MMLN pode ser favorecida pela transição de políticas genéricas para intervenções territoriais sob medida. A governança apoiada pela arquitetura de Redes Neurais auxilia na identificação de que a inovação na região pode ser gerida não apenas pelo volume produtivo das metrópoles, mas pela forma como essa produção interage com o capital natural das periferias e distribui valor. A ordenação em ranque dos 90 municípios que compõem a MMLN está disposta ao Anexo G, como resultado da Matriz MDERI.

⁴ Histerese: Fenômeno em que o estado atual de um sistema depende não apenas de sua entrada atual, mas também de seu histórico de entradas passadas.

Figura 38 - Matriz de desempenho do ERI MMLN

MATRIZ DE DESEMPENHO DE ERIS

Municípios com alta resiliência sistêmica tendem a mitigar zonas de colapso, independentemente do vigor econômico.



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

5.1 O artefato instanciado: Plataforma Ponteiro Digital

A presente seção detalha a instanciação do artefato voltado à mensuração do desempenho de ERIs, denominado Ponteiro Digital⁵, é classificado como um artefato instanciado (Hevner et al., 2004), representando a implementação computacional do modelo teórico-analítico proposto nesta pesquisa ao contexto do programa Inova RS.

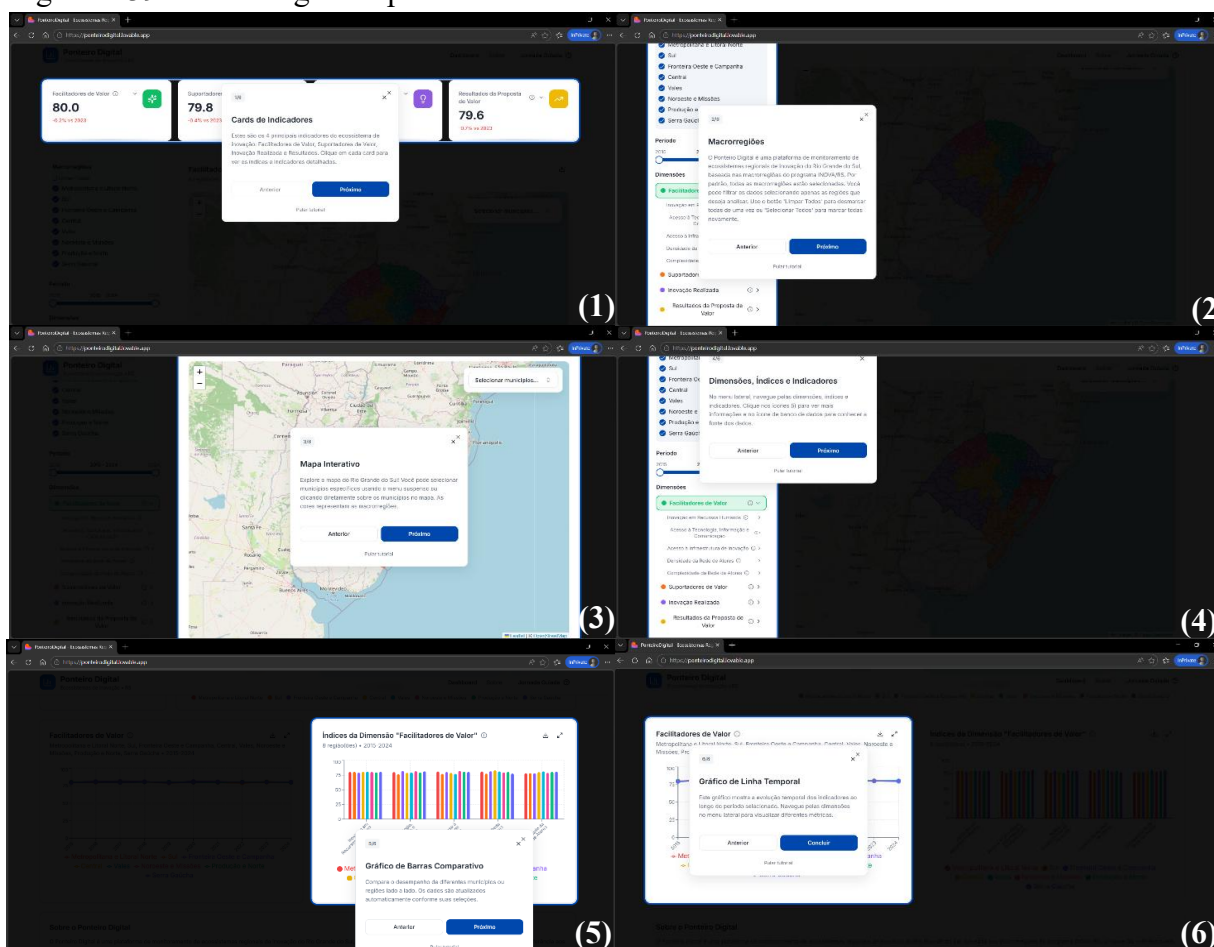
A funcionalidade do Ponteiro Digital é estruturada em quatro camadas analíticas integradas, projetadas para manter a integridade do fluxo de informação: i) Camada de ingestão e engenharia de características: consome bases de dados públicas municipais e aplica engenharia de features para gerar métricas inéditas voltadas a capturar propriedades latentes do ecossistema; ii) Camada de indicadores estruturais: organiza os dados conforme as dimensões do modelo teórico, refletindo os construtos latentes na operacionalização do sistema; iii) Camada de métricas compostas e relações sistêmicas: processa interdependências para sinalizar possíveis desequilíbrios sistêmicos (ex: descompasso entre formação acadêmica e absorção produtiva); e iv) Camada de visualização e apoio à decisão: interface que busca traduzir a complexidade estatística em elementos visuais.

Ao acessar a plataforma (<https://ponteiordigital.lovable.app/>), o usuário é convidado a percorrer uma jornada sugerida em seis etapas (Figura 39). Essa sequência busca subsidiar a estrutura cognitiva pela qual o desempenho do ecossistema pode ser interpretado, sugerindo uma ordem de análise: visão geral → território → estrutura → comparação → evolução temporal. Esse encadeamento visa refletir o processo analítico voltado à compreensão da dinâmica, da localização, da composição e da trajetória do desempenho regional: i) Visão geral dos indicadores: a tela inicial apresenta indicadores que buscam oferecer uma sinalização preliminar do ecossistema de maneira sintetizada. As medidas agregadas no topo da página visam sintetizar o panorama geral, oferecendo subsídios para uma primeira leitura sobre a situação do ecossistema; ii) Seleção por macrorregiões: esta etapa orienta a análise para o contexto das macrorregiões do programa Inova RS. O sistema recalibra as referências de indicadores e mapas para o recorte escolhido, permitindo que a análise seja fundamentada nas especificidades do recorte territorial selecionado; iii) Mapa interativo dos municípios: com a definição territorial, o artefato projeta o desempenho de forma espacializada. A interface permite observar padrões de distribuição, oferecendo indícios sobre: a) Possíveis concentrações

⁵O nome faz referência aos ponteiros das antigas comitivas gaúchas, que atuavam na dianteira auxiliando na orientação do ritmo da marcha e na coesão do grupo, observando as variantes do trajeto.

de desempenho; b) Zonas de menor densidade; c) Municípios que apresentam comportamentos distintos da média regional; iv) Dimensões, índices e indicadores: o menu lateral organiza a decomposição do desempenho em suas dimensões constituintes. Esta etapa propicia a transição da leitura espacial para a estrutural, oferecendo elementos para a compreensão de quais componentes podem influenciar o desempenho observado; v) Gráfico de barras comparativo entre dimensões: ao permitir a visualização simultânea das dimensões dentro de um mesmo território, o gráfico de barras favorece a percepção de assimetrias estruturais. O gestor pode observar se determinados eixos apresentam comportamentos divergentes uns dos outros; vi) Gráfico de linha temporal: a variável temporal permite acompanhar a trajetória histórica das dimensões. Essa funcionalidade auxilia na observação de: a) Possíveis tendências; b) Comportamentos dos indicadores após intervenções ou ações implementadas; c) Estabilidade ou volatilidade do padrão estrutural ao longo do período analisado.

Figura - 39 - Jornada guiada pelo artefato instanciado

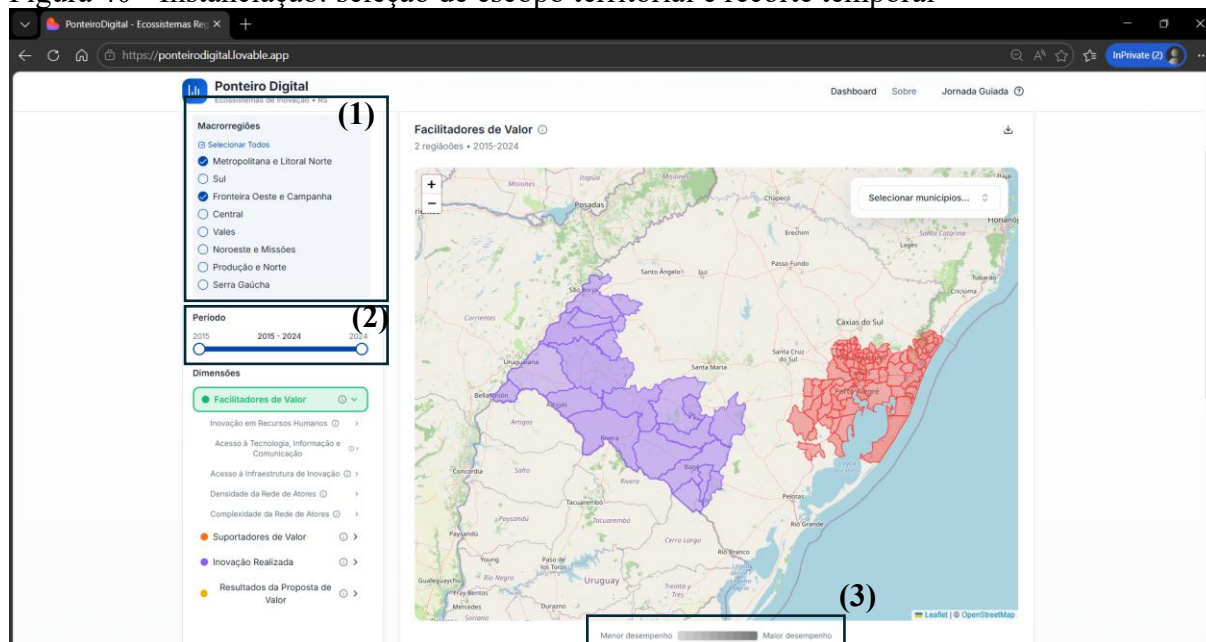


Fonte: elaborado pelo autor (2026).

O Ponteiro Digital busca mitigar uma lacuna histórica na gestão da inovação regional ao propor a padronização de métricas de desempenho e ao oferecer subsídios que visam reduzir a carga de subjetividade nas análises. O artefato não tem caráter prescritivo quanto a intervenções, mas estrutura o campo informativo para que o gestor possa avançar em direção a um planejamento fundamentado em dados. Além disso, o artefato propicia uma linguagem comum entre gestores, universidades e empresas, favorecendo a avaliação de políticas públicas regionais a partir de bases de dados integradas.

A interação com o artefato ocorre por meio de camadas de filtragem e visualização que buscam refletir o encadeamento lógico do diagnóstico regional (Figura 40). A transição do dado bruto para a evidência estratégica é apresentada em três momentos. A interface inicial permite a delimitação do escopo de análise: nela, o usuário seleciona as macrorregiões (1) do programa Inova RS e define o período temporal (2) de interesse. Do ponto de vista da DSR, esta funcionalidade visa atender à necessidade de contextualização espacial: ao selecionar um território, o sistema ajusta a escala cromática de desempenho (3). Esse mecanismo favorece que a comparação ocorra de forma relativa ao universo de análise escolhido, possibilitando que eventuais assimetrias sejam percebidas visualmente pela intensidade das cores, em que tonalidades mais saturadas sugerem maior maturidade no indicador selecionado.

Figura 40 - Instanciação: seleção de escopo territorial e recorte temporal

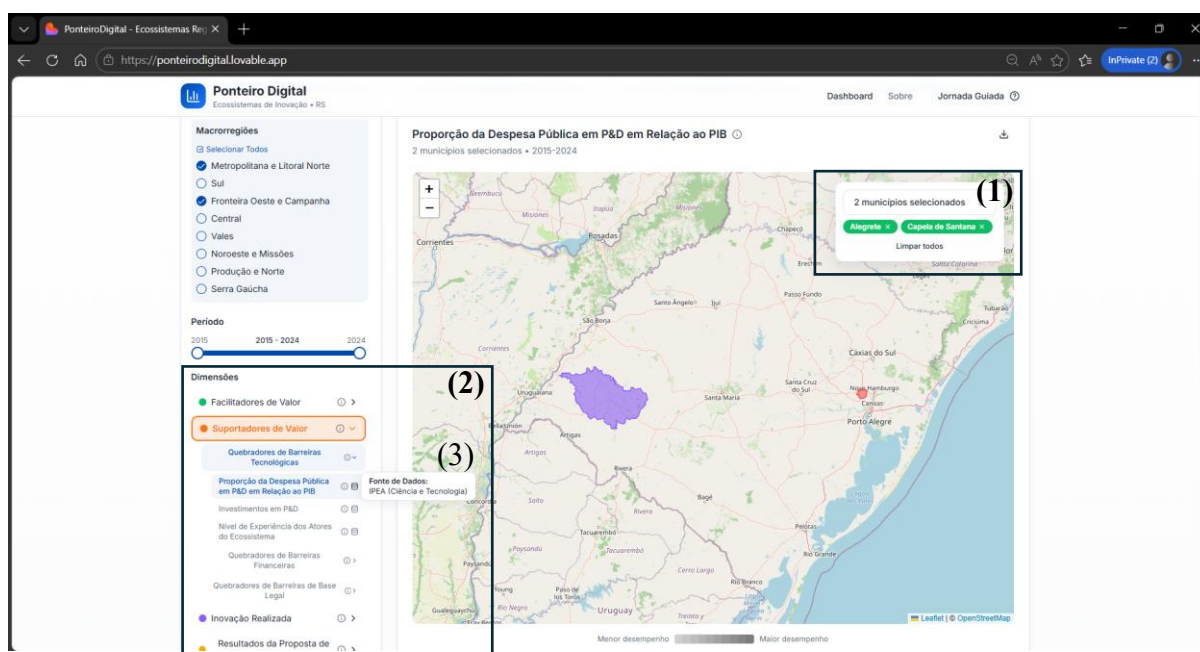


Fonte: elaborado pelo autor (2026).

A segunda camada de interação (Figura 41) busca subsidiar a necessidade de análise multi-escalar. O artefato possibilita a seleção de municípios (1) dentro das macrorregiões,

facilitando a observação de unidades territoriais de forma isolada para possíveis diagnósticos pontuais. Simultaneamente, a plataforma operacionaliza a seleção de indicadores (2) estruturados em dimensões, oferecendo uma navegação modular. Um diferencial acadêmico nesta instância é a transparência metodológica: ao interagir com o indicador, o artefato apresenta a fonte original dos dados (3), favorecendo a rastreabilidade e fornecendo subsídios para a verificação da informação por parte do gestor público.

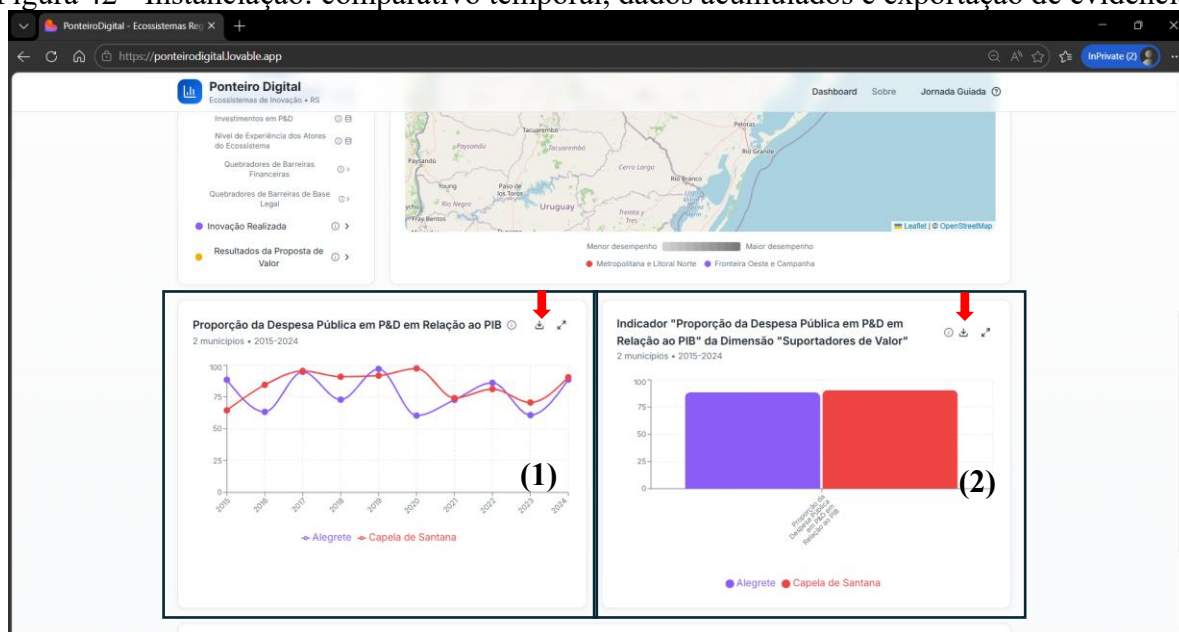
Figura 41 - Instanciação: seleção de unidades municipais e navegação por indicadores



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

O encerramento da jornada analítica proposta ocorre na funcionalidade de comparação longitudinal (Figura 42). O artefato processa as informações para gerar representações gráficas de séries temporais (1) e valores acumulados (2), favorecendo o confronto do desempenho entre diferentes macrorregiões ou municípios de forma simultânea. Esta interface busca materializar o objetivo de suporte à decisão ao oferecer meios para que o gestor observe possíveis tendências de convergência ou divergência entre territórios. Adicionalmente, visando a portabilidade da pesquisa e o fomento a análises externas, o artefato disponibiliza a extração de dados em formato aberto (CSV) (indicado pela seta em vermelho). Essa funcionalidade contribui para que o Ponteiro Digital se caracterize como um componente integrador de uma rede de inteligência territorial mais ampla.

Figura 42 - Instanciação: comparativo temporal, dados acumulados e exportação de evidências



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

No contexto da DSR, a construção destas interfaces fornece evidências sobre a viabilidade operacional do modelo proposto. A aplicação experimental na MMLN sugere potenciais contribuições ao campo da gestão regional: i) Percepção sistêmica: a visualização integrada propicia subsídios que podem favorecer uma mudança na perspectiva do gestor, deslocando o foco da análise de indicadores isolados para uma interpretação do comportamento dinâmico do território; ii) Identificação de pontos críticos: as relações estruturais tendem a se tornar mais visíveis por meio da comparação gráfica, auxiliando na sinalização de possíveis gargalos estruturais que análises tabulares convencionais poderiam não evidenciar; iii) Suporte à governança: a usabilidade da ferramenta tem o potencial de facilitar a transição de processos decisórios baseados predominantemente na intuição para abordagens fundamentadas em evidências empíricas, alinhando-se à expectativa de utilidade do artefato para o ambiente de decisão real.

Sob o rigor da DSR, a validade do Ponteiro Digital, neste estágio de desenvolvimento, fundamenta-se na sua exequibilidade técnica e na consistência de sua aderência ao referencial teórico-analítico. O artefato fornece indícios de que o emprego de Redes Neurais *Multi-Task* e a engenharia de indicadores são operacionalizáveis em contexto aplicado. Ressalta-se, contudo, que a presente versão do artefato não foi submetida a um ciclo de validação formal de usabilidade junto aos membros do Comitê Técnico da MMLN.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS: CAMINHOS PARA UMA GOVERNANÇA BASEADA EM EVIDÊNCIAS

Ao término deste percurso investigativo, observa-se que a integração da arquitetura de Redes Neurais Artificiais à Economia Regional contribuiu para uma interpretação da configuração do desenvolvimento na MMLN, fundamentando a proposição de um artefato de mensuração para o desempenho dos ERIs. Sob a lente da DSR, a instanciação demonstrou utilidade ao sugerir que a inovação regional tende a se manifestar como uma propriedade emergente de sistemas adaptativos complexos, distanciando-se de visões puramente lineares de causalidade. A investigação indica que a complexidade econômica, em conjunto com a infraestrutura sociotécnica, pode ser compreendida como parte dos alicerces da eficiência ecossistêmica.

Esta dissertação oferece duas contribuições. No campo teórico, propõe um modelo de análise que incorpora técnicas de Inteligência Artificial para lidar com a multidimensionalidade dos ERIs, avançando na fronteira metodológica da Economia Regional. No campo prático, a materialização do Ponteiro Digital oferece aos gestores do programa Inova RS uma ferramenta de suporte que busca mitigar a fragmentação de dados e a subjetividade analítica. Ao capturar um recorte do estado atual dos municípios, o modelo aponta associações estatísticas relevantes, embora se reconheça que a análise não esgota os ciclos de longo prazo de criação e renovação de trajetórias territoriais. As elasticidades calculadas, portanto, refletem equilíbrios pontuais sensíveis a variáveis externas — como oscilações macroeconômicas ou eventos climáticos.

Os achados sugerem que a governança regional pode encontrar caminhos promissores ao considerar a transição de um fomento focado primordialmente na oferta tecnológica para políticas de inovação mais orientadas a resultados. Nesse sentido, a inovação é interpretada não como um fim isolado, mas como um potencial indutor pelo qual o território busca: i) Equilíbrio demográfico: auxiliando na retenção de talentos (TRT); ii) Resiliência ambiental: favorecendo a redução de disparidades territoriais; iii) Policentrismo: colaborando para a ancoragem da complexidade econômica em municípios com resiliência em ascensão.

É prudente destacar que a principal limitação do modelo reside na dependência da granularidade e da latência dos indicadores municipais disponíveis. Lacunas em registros oficiais podem gerar lacunas estatísticas que subestimam inovações de base comunitária. Adicionalmente, opera-se sob o Desafio da Interpretabilidade: embora ferramentas de IA Explicável (XAI), como os SHAP *values*, tragam transparência ao processo decisório da rede neural, a alta dimensionalidade dos dados reforça a necessidade da intervenção analítica do

pesquisador. O artefato atua como suporte diagnóstico, operando em sinergia com — e não em substituição à — heurística humana no planejamento regional.

As fronteiras aqui delineadas inauguram uma agenda de pesquisa na interseção entre Ciência de Dados e Planejamento Regional, incluindo a evolução para modelagens longitudinais, o mapeamento de fluxos via Redes Neurais em Grafos e o aprofundamento qualitativo com atores da Quádrupla Hélice. Esta pesquisa se encerra com a percepção de que a competitividade futura da região pode estar vinculada à transição de economias de aglomeração tradicionais para dinâmicas de colaboração em rede. O modelo, portanto, constitui-se como uma ferramenta orientadora que visa auxiliar para que a especialização inteligente no extremo sul do Brasil possa ser inovadora por concepção, sustentável por necessidade e inclusiva por propósito.

REFERÊNCIAS

- AARIKKA-STENROOS, Leena; RITALA, Paavo; THOMAS, Llewellyn DW. Circular economy ecosystems: A typology, definitions, and implications. **Research handbook of sustainability agency**, 260-276.7, 2021.
- ACS, Zoltan J. *et al.* Entrepreneurship, institutional economics, and economic growth: an ecosystem perspective. **Small Business Economics**, v. 51, p. 501-514, 2018.
- ADNER, Ron. Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. **Harvard business review**, v. 84, n. 4, p. 98, 2006.
- _____. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. **Journal of management**, v. 43, n. 1, p. 39-58, 2017.
- ADNER, Ron; KAPOOR, Rahul. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. **Strategic management journal**, v. 31, n. 3, p. 306-333, 2010.
- _____. Innovation ecosystems and the pace of substitution: Re-examining technology S-curves. **Strategic management journal**, v. 37, n. 4, p. 625-648, 2016.
- AGHION, Philippe *et al.* The effects of entry on incumbent innovation and productivity. **The review of economics and statistics**, v. 91, n. 1, p. 20-32, 2009.
- AHANI, Ali; RAHIM, Nor Zairah Ab; NILASHI, Mehrbakhsh. Firm performance through social customer relationship management: Evidence from small and medium enterprises. In: *2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*. IEEE, p. 1-6, 2017.

- ALDERETE, María Verónica; BACIC, Miguel Juan. Local Productive Arrangements and local development in non-metropolitan municipalities of Sao Paulo, Brazil. **Cuadernos de Gestión**, v. 18, n. 1, p. 103-123, 2018.
- ALEGRE, Joaquín; CHIVA, Ricardo; LAPIEDRA, Rafael. A literature-based innovation output analysis: implications for innovation capacity. **International Journal of Innovation Management**, v. 9, n. 04, p. 385-399, 2005.
- ALENCAR, Júlia FL *et al.* COMPLEXIDADE ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO: Uma análise do caso latino-americano. **Novos estudos CEBRAP**, v. 37, p. 247-271, 2018.
- ANDREWS, Michael J.; WHALLEY, Alexander. 150 years of the geography of innovation. **Regional Science and Urban Economics**, v. 94, p. 103627, 2022.
- ANSELL, Christopher; TORFING, Jacob. Co-creation: The new kid on the block in public governance. **Policy & Politics**, v. 49, n. 2, p. 211-230, 2021.
- AMIN, Ash; COHENDET, Patrick. Learning and adaptation in decentralised business networks. **Environment and Planning D: Society and Space**, v. 17, n. 1, p. 87-104, 1999.
- AMIN, Ash; THRIFT, Nigel. Institutional issues for the European regions: from markets and plans to socioeconomics and powers of association. *Economy and society*, 24.1: 41-66, 1995.
- ALTENBURG, Tilman; MEYER-STAMER, Jörg. How to promote clusters: policy experiences from Latin America. **World development**, v. 27, n. 9, p. 1693-1713, 1999.
- ANDERSSON, Martin; KARLSSON, Charlie. Regional innovation systems in small & medium-sized regions a critical review & assessment. **Working Paper Series in Economics and Institutions of Innovation**, n. 10, 2004.
- ANDERSON, Philip; TUSHMAN, Michael L. Technological discontinuities and dominant designs: A cyclical model of technological change. *In: Organizational innovation*. Routledge, p. 373-402, 2018.
- APPIO, Francesco Paolo; LIMA, Marcos; PAROUTIS, Sotirios. Understanding Smart Cities: Innovation ecosystems, technological advancements, and societal challenges. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, p. 1-14, 2019.
- ARANGUREN, Mari Jose; MAGRO, Edurne; WILSON, James R. Regional competitiveness policy evaluation as a transformative process: From theory to practice. **Environment and Planning C: Politics and Space**, v. 35, n. 4, p. 703-720, 2017.
- ARENA, Marika; AZZONE, Giovanni; PIANTONI, Giulia. Uncovering value creation in innovation ecosystems: paths towards shared value. **European Journal of Innovation Management**, v. 25, n. 6, p. 432-451, 2022.
- ARTHUR, W. B. Complexity and the economy. **Science**, v. 284, p. 107-109, 1999.

ASHEIM, Bjørn T. Smart specialisation, innovation policy and regional innovation systems: what about new path development in less innovative regions? **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, v. 32, n. 1, p. 8-25, 2019.

_____. The changing role of learning regions in the globalizing knowledge economy: A theoretical re-examination. **Regional studies**, v. 46, n. 8, p. 993-1004, 2012.

_____. Differentiated knowledge bases and varieties of regional innovation systems. **Innovation**, v. 20, n. 3, p. 223-241, 2007.

ASHEIM, Bjørn T.; GERTLER, Meric S. The geography of innovation: regional innovation systems. 2006.

ASHEIM, Bjørn T.; GRILLITSCH, Markus; TRIPPL, Michaela. Regional innovation systems: Past–present–future. **Handbook on the Geographies of Innovation**, p. 45-62, 2016.

ASHEIM, Bjørn T.; ISAKSEN, Arne; TRIPPL, Michaela. Advanced introduction to regional innovation systems. 2019.

AUDRETSCH, David B. *et al.* Entrepreneurial ecosystems: economic, technological, and societal impacts. **The Journal of technology transfer**, v. 44, p. 313-325, 2019.

AUDRETSCH, David B.; BELITSKI, Maksim. Entrepreneurial ecosystems in cities: establishing the framework conditions. **The Journal of Technology Transfer**, v. 42, p. 1030-1051, 2017.

AUERSWALD, Philip E.; DANI, Lokesh. The adaptive life cycle of entrepreneurial ecosystems: the biotechnology cluster. **Small Business Economics**, v. 49, p. 97-117, 2017.

_____. Entrepreneurial opportunity and related specialization in economic ecosystems. **Research Policy**, v. 51, n. 9, p. 104445, 2022.

AUTIO, Erkkö; THOMAS, Llewellyn DW. Value co-creation in ecosystems: Insights and research promise from three disciplinary perspectives. *In: Handbook of digital innovation*. Edward Elgar Publishing, p. 107-132, 2020.

_____. **Innovation ecosystems**. The Oxford handbook of innovation management, 2014.

AUTIO, Erkkö; THOMAS, Llewellyn DW. Tilting the playing field: Towards an endogenous strategic action theory of ecosystem creation. *In: World Scientific reference on innovation: volume 3: open innovation, ecosystems and entrepreneurship: issues and perspectives*. p. 111-140, 2018.

AUTIO, Erkkö *et al.* Digital affordances, spatial affordances, and the genesis of entrepreneurial ecosystems. **Strategic Entrepreneurship Journal**, v. 12, n. 1, p. 72-95, 2018.

- AUTIO, Erikko *et al.* Entrepreneurial innovation: The importance of context. **Research policy**, v. 43, n. 7, p. 1097-1108, 2014.
- AUTIO, Erikko; THOMAS, Llewellyn DW. Researching ecosystems in innovation contexts. **Innovation & Management Review**, v. 19, n. 1, p. 12-25, 2021.
- AUTY, Richard M. (ed.). *Resource abundance and economic development*. OUP Oxford, 2001.
- BACHARACH, Samuel B. Organizational theories: Some criteria for evaluation. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 496-515, 1989.
- BAHLMANN, Marc D. Geographic network diversity: How does it affect exploratory innovation? **Industry and Innovation**, v. 21, n. 7-8, p. 633-654, 2014.
- BAI, Xuemei. Eight energy and material flow characteristics of urban ecosystems. **Ambio**, v. 45, n. 7, p. 819-830, 2016.
- BALDWIN, Carliss Y. The architecture of platforms: a unified view. **Platforms, Markets and Innovation/Edward Elgar Publishing Limited**, 2009.
- BALDWIN, C. Y. **Design rules, volume 1: The power of modularity**. MIT Press, 2000.
- BALLAND, Pierre-Alexandre; RIGBY, David. The geography of complex knowledge. **Economic geography**, v. 93, n. 1, p. 1-23, 2017.
- BALLAND, Pierre-Alexandre, et al. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. **Regional studies**, 53.9: 1252-1268, 2019.
- BAPTISTA, Diego Henrique Da Silva. Laboratórios urbanos: cocriação de uma governança urbana para cidades inteligentes e sustentáveis no vale do pinhão, em Curitiba. 06/03/2019, 136 f. Mestrado em GESTÃO URBANA Instituição De Ensino: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ, Curitiba Biblioteca Depositária: Biblioteca Central Da PUCPR
- BARNS, Sarah. **Platform urbanism: Negotiating platform ecosystems in connected cities**. Springer Nature, 2019.
- BARROETA, Belen *et al.* Innovation and regional specialisation in Latin America. **Seville: JRC Technical Reports**, p. 497-517, 2017.
- BARTZ, Cátia Raquel Felden. A influência das relações interorganizacionais no desenvolvimento do ecossistema de inovação de máquinas agrícolas do Rio Grande do Sul-RS. 2021.
- BASOLE, Rahul C. Structural analysis and visualization of ecosystems: A study of mobile device platforms. 2009.

- BATTERINK, Maarten H. *et al.* Orchestrating innovation networks: The case of innovation brokers in the agri-food sector. **Entrepreneurship and regional development**, v. 22, n. 1, p. 47-76, 2010.
- BECKER, G. S. *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education.* University of Chicago Press, Chicago, 1964.
- BELUSSI, Fiorenza; SAMMARRA, Alessia; SEDITA, Silvia Rita. Learning at the boundaries in an “Open Regional Innovation System”: A focus on firms’ innovation strategies in the Emilia Romagna life science industry. **Research policy**, v. 39, n. 6, p. 710-721, 2010.
- BETTENCOURT, Luis MA, *et al.* Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. **Proceedings of the national academy of sciences**, 2007, 104.17: 7301-7306.
- BOSCH, A.; VONORTAS, N. Smart Specialization as a Tool to Foster Innovation in Emerging Economies: Lessons from Brazil. *Foresight and STI Governance*, 13 (1), 32–47. **Russ**. doi, v. 10, p. 2500-2597.2019, 2019.
- BOSCHMA, Ron; FRENKEN, Koen. The emerging empirics of evolutionary economic geography. **Journal of economic geography**, v. 11, n. 2, p. 295-307, 2011.
- BOSCHMA, Ron; IAMMARINO, Simona. Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. **Economic geography**, v. 85, n. 3, p. 289-311, 2009.
- BOSMA, Niels; HOLVOET, Tine. The role of culture in entrepreneurial ecosystems: An investigation for European regions. In: **6th Annual George Washington University (GWU)-International Council for Small Business (ICSB) Global Entrepreneurship Research and Policy Conference.** 2015.
- BOTERO MARIN, Diana Catalina. Orchestrating innovation ecosystems: a case study of a telco wholesaler growing into a global hub for cross-innovation. 2012.
- BOUDREAU, Kevin J.; JEPPESEN, Lars B. Unpaid crowd complementors: The platform network effect mirage. **Strategic management journal**, v. 36, n. 12, p. 1761-1777, 2015.
- BRAMWELL, Allison; HEPBURN, Nicola; WOLFE, David A. Growing entrepreneurial ecosystems: Public intermediaries, policy learning, and regional innovation. **Journal of Entrepreneurship and Public Policy**, v. 8, n. 2, p. 272-292, 2019.
- _____. Growing innovation ecosystems: University-industry knowledge transfer and regional economic development in Canada. **Final Report to the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada**, v. 62, 2012.
- BRANDENBURGER, Adam M.; STUART JR, Harborne W. Value-based business strategy. **Journal of economics & management strategy**, v. 5, n. 1, p. 5-24, 1996.
- BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine learning**, 45.1: 5-32, 2001.

BRETTAS, Rodrigo Houara. Inovação e ambientes promotores de inovação: fomento estatal, panorama nacional e desafios locais, 28/09/2022. Mestrado Profissional em DESENVOLVIMENTO REGIONAL Instituição de Ensino: CENTRO UNIVERSITÁRIO ALVES FARIA, Goiânia Biblioteca Depositária.

BRISCOE, Gerard; SADEDIN, Suzanne; PAPERIN, Greg. Biology of applied digital ecosystems. In: **2007 Inaugural IEEE-IES Digital EcoSystems and Technologies Conference**. IEEE, p. 458-463, 2007.

BUESA, Mikel; HEIJS, Joost; BAUMERT, Thomas. The determinants of regional innovation in Europe: A combined factorial and regression knowledge production function approach. **Research policy**, v. 39, n. 6, p. 722-735, 2010.

BURKE, Mary Kathleen Fitzpatrick. **Place matters: understanding the role of place in entrepreneurial ecosystems**. Stockholm School of Economics, 2023.

CAMAGNI, Roberto. Spatial implications of technological diffusion and economic restructuring in Europe—The Italian case. **Ekistics**, 330-335, 1991.

CAMAGNI, Roberto; CAPELLO, Roberta. Regional competitiveness and territorial capital: a conceptual approach and empirical evidence from the European Union. **Regional studies**, v. 47, n. 9, p. 1383-1402, 2013.

CAMBOIM, Guilherme Freitas; ZAWISLAK, Paulo Antônio; PUFAL, Nathália Amarante. Driving elements to make cities smarter: Evidences from European projects. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, p. 154-167, 2019.

CARAYANNIS, Elias G. *et al.* The ecosystem as helix: an exploratory theory-building study of regional co-opetitive entrepreneurial ecosystems as Quadruple/Quintuple Helix Innovation Models. **R&d Management**, v. 48, n. 1, p. 148-162, 2018a.

CARAYANNIS, Elias G.; BARTH, Thorsten D.; CAMPBELL, David FJ. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. **Journal of innovation and entrepreneurship**, v. 1, p. 1-12, 2012.

CARAYANNIS, Elias G. *et al.* **Mode 3 knowledge production in quadruple helix innovation systems: Twenty-first-century democracy, innovation, and entrepreneurship for development**. Springer New York, 2012.

CARAYANNIS, Elias G.; GOLETISIS, Yorgos; GRIGOROUDIS, Evangelos. Composite innovation metrics: MCDA and the Quadruple Innovation Helix framework. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 131, p. 4-17, 2018b.

- CARAYANNIS, Elias G.; CAMPBELL, David FJ. 'Mode 3'and'Quadruple Helix': toward a 21st century fractal innovation ecosystem. **International journal of technology management**, v. 46, n. 3-4, p. 201-234, 2009.
- CARAYANNIS, Elias G.; CAMPBELL, David FJ. Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and how do knowledge, innovation and the environment relate to each other? a proposed framework for a trans-disciplinary analysis of sustainable development and social ecology. **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)**, v. 1, n. 1, p. 41-69, 2010.
- CARD, David. Estimating the return to schooling: Progress on some persistent econometric problems. *Econometrica*, 69.5: 1127-1160, 2001.
- CASILLI, Antonio; POSADA, Julian. The platformization of labor and society. **Society and the internet: How networks of information and communication are changing our lives**, p. 293-306, 2019.
- CASSIOLATO, José Eduardo; LASTRES, Helena Maria Martins; MACIEL, Maria Lucia (ed.). *Systems of innovation and development: evidence from Brazil*. Edward Elgar Publishing, 2003.
- CECCAGNOLI, Marco *et al.* Cocreation of value in a platform ecosystem! The case of enterprise software. **MIS quarterly**, p. 263-290, 2012.
- CHESBROUGH, Henry. The logic of open innovation: managing intellectual property. **California management review**, v. 45, n. 3, p. 33-58, 2003.
- _____. The future of open innovation: The future of open innovation is more extensive, more collaborative, and more engaged with a wider variety of participants. **Research-Technology Management**, v. 60, n. 1, p. 35-38, 2017.
- CHIARONI, Davide; CHIESA, Vittorio. Forms of creation of industrial clusters in biotechnology. **Technovation**, v. 26, n. 9, p. 1064-1076, 2006.
- CLARK, C. *The Conditions of Economic Progress*. London: Macmillan, 1940.
- CLARYSSE, Bart *et al.* Creating value in ecosystems: Crossing the chasm between knowledge and business ecosystems. **Research policy**, v. 43, n. 7, p. 1164-1176, 2014.
- COBBEN, Dieudonnee; OOMS, Ward; ROIJAKKERS, Nadine. Indicators for innovation ecosystem health: A Delphi study. **Journal of Business Research**, v. 162, p. 113860, 2023.
- COBBEN, Dieudonnee; ROIJAKKERS, Nadine. The dynamics of trust and control in innovation ecosystems. **International Journal of Innovation: IJI Journal**, v. 7, n. 1, p. 1-25, 2019.
- COHEN, Boyd. Sustainable valley entrepreneurial ecosystems. **Business strategy and the Environment**, v. 15, n. 1, p. 1-14, 2006.

- COHEN, Wesley M. *et al.* R&D *spillovers*, patents and the incentives to innovate in Japan and the United States. **Research policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1349-1367, 2002.
- COHEN, Jacob, et al. Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences. Routledge, 2013.
- COOKE, Philip; URANGA, Mikel Gomez; ETXEBARRIA, Goio. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. **Research policy**, v. 26, n. 4-5, p. 475-491, 1997.
- COOKE, Philip. Regional innovation systems: competitive regulation in the new Europe. **Geoforum**, v. 23, n. 3, p. 365-382, 1992.
- COOKE, Philip N.; HEIDENREICH, Martin; BRACZYK, Hans-Joachim (Ed.). **Regional innovation systems: The role of governance in a globalized world**. Psychology Press, 2004.
- COOKE, Philip. Regional innovation systems, clusters, and the knowledge economy. **Industrial and corporate change**, v. 10, n. 4, p. 945-974, 2001.
- COOKE, Philip (Ed.). **Regional knowledge economies: markets, clusters and innovation**. Edward Elgar Publishing, 2007.
- COLOMBO, Massimo G. *et al.* The governance of entrepreneurial ecosystems. **Small Business Economics**, v. 52, p. 419-428, 2019.
- CONOVER, William Jay. Practical nonparametric statistics. John Wiley & Sons, 1999.
- COULDRY, Nick; HEPP, Andreas. **The mediated construction of reality**. John Wiley & Sons, 2018.
- CORDER, G. W; FOREMAN, D. I. Nonparametric statistics for non-statisticians: a step-by-step approach, 247New Jersey: Wiley. 2009.
- CHEN, Juanyi *et al.* Entrepreneurial ecosystems: What we know and where we move as we build an understanding of China. In: **Entrepreneurship in China**. Routledge, p. 18-36, 2021.
- CHRISTENSEN, Clayton M. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail Harvard Business School Press Boston MA USA. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm>, 1997.
- CRESCENZI, Riccardo; RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. An 'integrated' framework for the comparative analysis of the territorial innovation dynamics of developed and emerging countries. **Journal of Economic Surveys**, v. 26, n. 3, p. 517-533, 2012.
- CRESWELL, John W. Mapping the developing landscape of mixed methods research. **SAGE handbook of mixed methods in social & behavioral research**, v. 2, n. 0, p. 45-68, 2010.
- CUSUMANO, Michael A. *et al.* How companies become platform leaders. **MIT Sloan management review**, 2008.

- DALLE, Jean-Michel; DEN BESTEN, Matthijs; MENON, Carlo. Using Crunchbase for economic and managerial research. 2017. DAVIS, Lance; NORTH, Douglass. Institutional change and American economic growth: A first step towards a theory of institutional innovation. **The journal of economic history**, v. 30, n. 1, p. 131-149, 1970.
- DE BRUIJN, Hans; TEN HEUVELHOF, Ernst. **Management in networks**. Routledge, 2018.
- DECKER, Ethan H. *et al.* Energy and material flow through the urban ecosystem. **Annual review of energy and the environment**, v. 25, n. 1, p. 685-740, 2000.
- DEDEHAYIR, Ozgur; MÄKINEN, Saku J.; ORTT, J. Roland. Innovation ecosystems as structures: Actor roles, timing of thERI entrance, and interactions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 183, p. 121875, 2022.
- DEDEHAYIR, Ozgur; MÄKINEN, Saku J.; ORTT, J. Roland. Roles during innovation ecosystem genesis: A literature review. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 18-29, 2018.
- DELGADO, Mercedes; PORTER, Michael E.; STERN, Scott. Clusters and entrepreneurship. **Journal of economic geography**, v. 10, n. 4, p. 495-518, 2010.
- _____. Clusters, convergence, and economic performance. **Research policy**, v. 43, n. 10, p. 1785-1799, 2014.
- DEMŠAR, Janez. Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. **Journal of Machine learning research**, 2006, 7. Jan: 1-30.
- DEN HARTIGH, Erik; TOL, Michiel; VISSCHER, Wouter. The health measurement of a business ecosystem. In: **Proceedings of the European Network on Chaos and Complexity Research and Management Practice Meeting**. p. 1-39, 2006.
- DE NEGRI, Fernanda. *Novos caminhos para a inovação no Brasil*. 2018.
- DE NEGRI, Fernanda; HAUEN, André Tortato; SQUEFF, Flávia de Holanda Schmidt. Ciência, inovação e produtividade: por uma nova geração de políticas públicas. **DE NEGRI, JA; ARAÚJO, BC**, 2018.
- DE REUVER, Mark; SØRENSEN, Carsten; BASOLE, Rahul C. The digital platform: a research agenda. **Journal of information technology**, v. 33, n. 2, p. 124-135, 2018.
- DE VASCONCELOS GOMES, Leonardo Augusto *et al.* Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends. **Technological forecasting and social change**, v. 136, p. 30-48, 2018.
- DHANARAJ, Charles; PARKHE, Arvind. Orchestrating innovation networks. **Academy of management review**, v. 31, n. 3, p. 659-669, 2006.

- DIJKERS, Joost *et al.* Exploring the effect of software ecosystem health on the financial performance of the open-source companies. In: **Proceedings of the 1st International Workshop on Software Health**. p. 48-55, 2018.
- DONEGAN, Mary; FELDMAN, Maryann. Institutional evolution and the collaborative development of technology transfer capabilities. **International Regional Science Review**, v. 45, n. 6, p. 636-662, 2022.
- DURST, Susanne; POUTANEN, Petro. Success factors of innovation ecosystems-Initial insights from a literature review. **Co-create**, v. 2013, p. 27, 2013.
- DYER, Jeffrey H.; SINGH, Harbir; HESTERLY, William S. The relational view revisited: A dynamic perspective on value creation and value capture. **Strategic management journal**, v. 39, n. 12, p. 3140-3162, 2018.
- ECHEVERRI-CARROLL, Elsie L.; FELDMAN, Maryann P. Chasing entrepreneurial firms. **Industry and Innovation**, v. 26, n. 5, p. 479-507, 2019.
- ESTEVEZ, Karen; FELDMANN, Paulo Roberto. Why Brazil does not innovate: a comparison among nations. **RAI Revista de Administração e Inovação**, v. 13, n. 1, p. 29-38, 2016.
- ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. **Research policy**, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.
- FELD, Brad. **Startup communities: Building an entrepreneurial ecosystem in your city**. John Wiley & Sons, 2020.
- FAGERBERG, Jan; MOWERY, David C.; VERSPAGEN, Bart. Introduction: innovation in Norway. **Innovation, Path Dependency, and Policy**. Oxford University Press, Oxford, p. 1-29, 2009.
- FAGUNDES, Mara Aparecida Barnaski. As capacidades dinâmicas no desenvolvimento de cidades inteligentes: Um Estudo dos Parques Científicos e Tecnológicos no Contexto dos Ecossistemas de Inovação' 23/03/2022 330 f. Mestrado em DESENVOLVIMENTO REGIONAL Instituição de Ensino: UNIV. REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, Ijuí Biblioteca Depositária: Biblioteca Mario Osorio Marques - <https://www.unijui.edu.br/biblioteca>
- FERRARO, Giovanna; IOVANELLA, Antonio. Organizing collaboration in inter-organizational innovation networks, from orchestration to choreography. **International Journal of Engineering Business Management**, v. 7, p. 24, 2015.

- FERASSO, Marcos; WUNSCH TAKAHASHI, Adriana R.; PRADO GIMENEZ, Fernando A. Innovation ecosystems: a meta-synthesis. **International journal of innovation science**, v. 10, n. 4, p. 495-518, 2018.
- FIELD, Andy. *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. Sage publications limited, 2024.
- FINNEY, Sara J.; DISTEFANO, Christine. *Nonnormal and categorical data in structural equation modeling*. 2013.
- FISHER, A. G. B. Production, primary, secondary and tertiary. **Economic Record**, v. 15, n. 1, p. 24-38, 1939.
- FLANAGAN, Kieron; UYARRA, Elvira. Four dangers in innovation policy studies—and how to avoid them. **Industry and Innovation**, 23.2: 177-188, 2016.
- FLANAGAN, Kieron; UYARRA, Elvira; LARANJA, Manuel. Reconceptualising the ‘policy mix’ for innovation. **Research policy**, 40.5: 702-713, 2011.
- FLORIDA, Richard. *The rise of the creative class*. Basic books, 2019.
- FLORIDA, Richard; MELLANDER, Charlotta; STOLARICK, Kevin. Inside the black box of regional development—human capital, the creative class and tolerance. **Journal of economic geography**, v. 8, n. 5, p. 615-649, 2008.
- FORAY, Dominique; LISSONI, Francesco. University research and public–private interaction. In: **Handbook of the Economics of Innovation**. North-Holland, p. 275-314, 2010.
- FORAY, Dominique. From smart specialisation to smart specialisation policy. **European Journal of Innovation Management**, v. 17, n. 4, p. 492-507, 2014a.
- FORAY, Dominique. **Smart specialisation: Opportunities and challenges for regional innovation policy**. Routledge, 2014b.
- _____. The concept of the ‘entrepreneurial discovery process’. **Governing Smart Specialisation**. Routledge, 2017.
- FORAY, Dominique *et al.* *Guide to research and innovation strategies for smart specialisations*. 2012.
- FORAY, Dominique; DAVID, Paul A.; HALL, Bronwyn H. Smart specialisation from academic idea to political instrument, the surprising career of a concept and the difficulties involved in its implementation. 2011.
- FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. **Journal of Marketing Research**, v. 18, n. 1, p. 39-50, 1981.
- FREEMAN, C. *Technology policy and economic performance: Lessons from Japan*. London: Pinter, 1987.

_____. The 'National System of Innovation' in historical perspective. *Cambridge Journal of Economics*, 19, 5–24, 1995.

FREEMAN, Christopher; SOETE, Luc. Developing science, technology and innovation indicators: What we can learn from the past. **Research policy**, v. 38, n. 4, p. 583-589, 2009.

FRENKEN, Koen; BOSCHMA, Ron A. A theoretical framework for evolutionary economic geography: industrial dynamics and urban growth as a branching process. **Journal of economic geography**, v. 7, n. 5, p. 635-649, 2007.

FRENKEN, Koen; VAN OORT, Frank; VERBURG, Thijs. Related variety, unrelated variety and regional economic growth. **Regional studies**, 41.5: 685-697, 2007.

FRITSCH, Michael; MUELLER, Pamela. Effects of new business formation on regional development over time. **Regional Studies**, v. 38, n. 8, p. 961-975, 2004.

FRITSCH, Michael; MESCHÉDE, Monika. Product innovation, process innovation, and size. **Review of Industrial organization**, v. 19, p. 335-350, 2001.

GADDEFORS, Johan; ANDERSON, Alistair R. Entrepreneursheep and context: when entrepreneurship is greater than entrepreneurs. **International journal of entrepreneurial behavior & research**, v. 23, n. 2, p. 267-278, 2017.

GAWER, A. Platform Leadership: How Intel, Microsoft, and Cisco Drive Industry Innovation. 2002.

GAWER, Annabelle; CUSUMANO, Michael A. Industry platforms and ecosystem innovation. **Journal of product innovation management**, v. 31, n. 3, p. 417-433, 2014.

GHAZAWNEH, Ahmad; HENFRIDSSON, Ola. Balancing platform control and external contribution in third-party development: the boundary resources model. **Information systems journal**, v. 23, n. 2, p. 173-192, 2013.

GIBB, Allan A. Key factors in the design of policy support for the small and medium enterprise (SME) development process: an overview. **Entrepreneurship & Regional Development**, v. 5, n. 1, p. 1-24, 1993.

GIFFORD, Ethan; MCKELVEY, Maureen; SAEMUNDSSON, Rögnvaldur. The evolution of knowledge-intensive innovation ecosystems: Co-evolving entrepreneurial activity and innovation policy in the West Swedish maritime system. **Industry and Innovation**, v. 28, n. 5, p. 651-676, 2021.

GIL, A. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. Atlas, São Paulo, 2008.

GILSING, Victor *et al.* Network embeddedness and the exploration of novel technologies: Technological distance, betweenness centrality and density. **Research policy**, v. 37, n. 10, p. 1717-1731, 2008.

- GOBBLE, MaryAnne M. Charting the innovation ecosystem. **Research-technology management**, v. 57, n. 4, p. 55-59, 2014.
- GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. Convolutional networks. **Deep learning**, v. 2016, p. 330-372, 2016.
- GOMES, Leonardo Augusto de Vasconcelos; DOS SANTOS, Matheus Graciani; FACIN, Ana Lúcia Figueiredo. Uncertainty management in global innovation ecosystems. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 182, p. 121787, 2022.
- GRABHER, Gernot. The embedded firm: On the socioeconomics of industrial networks. (*No Title*), 1993.
- GRAÇA, Paula; CAMARINHA-MATOS, Luis M. Performance indicators for collaborative business ecosystems—Literature review and trends. **Technological forecasting and social change**, v. 116, p. 237-255, 2017.
- GRANOVETTER, Mark. Economic action and social structure: The problem of embeddedness. **American journal of sociology**, v. 91, n. 3, p. 481-510, 1985.
- GRANSTRAND, Ove; HOLGERSSON, Marcus. Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition. **Technovation**, v. 90, p. 102098, 2020.
- GRILLITSCH, Markus; ASHEIM, Bjørn. Place-based innovation policy for industrial diversification in regions. **European Planning Studies**, v. 26, n. 8, p. 1638-1662, 2018.
- GROBBELAAR, Sara. Developing a local innovation ecosystem through a university-coordinated innovation platform: e University of Fort Hare. **IN PLACE**, p. 122, 2018.
- GRUPP, Hariolf; MOGEE, Mary Ellen. Indicators for national science and technology policy: how robust are composite indicators? **Research policy**, v. 33, n. 9, p. 1373-1384, 2004.
- GULATI, Ranjay; PURANAM, Phanish; TUSHMAN, Michael. Meta-organization design: Rethinking design in interorganizational and community contexts. **Strategic management journal**, v. 33, n. 6, p. 571-586, 2012.
- GULATI, Ranjay; WOHLGEZOGEN, Franz; ZHELYAZKOV, Pavel. The two facets of collaboration: Cooperation and coordination in strategic alliances. **Academy of Management Annals**, v. 6, n. 1, p. 531-583, 2012.
- HAGEDOORN, John; LOKSHIN, Boris; ZOBEL, Ann-Kristin. Partner type diversity in alliance portfolios: Multiple dimensions, boundary conditions and firm innovation performance. **Journal of Management Studies**, v. 55, n. 5, p. 809-836, 2018.
- HAIR, Joseph F., et al. When to use and how to report the results of PLS-SEM. **European business review**, 31.1: 2-24, 2019.

- HAJEK, Petr; HENRIQUES, Roberto. Modelling innovation performance of European regions using multi-output neural networks. **PloS one**, v. 12, n. 10, p. e0185755, 2017.
- HAJEK, Petr; HENRIQUES, Roberto; HAJKOVA, Veronika. Visualising components of regional innovation systems using self-organizing maps—Evidence from European regions. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 84, p. 197-214, 2014.
- HÅKANSSON, Håkan; FORD, David. How should companies interact in business networks? **Journal of business research**, v. 55, n. 2, p. 133-139, 2002.
- HANNAH, Douglas P.; EISENHARDT, Kathleen M. How firms navigate cooperation and competition in nascent ecosystems. **Strategic Management Journal**, v. 39, n. 12, p. 3163-3192, 2018.
- HANNIGAN, Timothy R. *et al.* A new tool for policymakers: Mapping cultural possibilities in an emerging AI entrepreneurial ecosystem. **Research Policy**, v. 51, n. 9, p. 104315, 2022.
- HANSEN, John A. Innovation, firm size, and firm age. **Small Business Economics**, 4.1: 37-44, 1992.
- HARRISON, Richard T.; LEITCH, Claire M. Entrepreneurship and leadership: the implications for education and development. **Entrepreneurship & Regional Development**, v. 6, n. 2, p. 111-125, 1994.
- HASSINK, Robert. Regional resilience: a promising concept to explain differences in regional economic adaptability? **Cambridge journal of regions, economy and society**, v. 3, n. 1, p. 45-58, 2010a.
- HASSINK, Robert. Locked in decline? On the role of regional lock-ins in old industrial areas. In: **The handbook of evolutionary economic geography**. Edward Elgar Publishing, 2010b.
- HASTIE, T. J., TIBSHIRANI, R. J., FRIEDMAN, J. H. *The Elements of Statistical Learning*. New York, NY: Springer, 2001.
- HAYKIN, Simon. *Neural networks and learning machines*, 3/E. Pearson education india, 2009.
- HEMMATIAN, Iman *et al.* Exploring the effects of discretion, discrimination, and oversight on the inclusiveness of small business contracting. In: **Entrepreneurship for Social Change**. Emerald Publishing Limited, p. 203-231, 2021.
- HENSELER, Jörg. Partial least squares path modeling. In: **Advanced methods for modeling markets**. Cham: Springer International Publishing, p. 361-381, 2017.
- HESS, Gérald. The ecosystem: Model or metaphor? Epistemological difficulties in industrial ecology. **Journal of Industrial Ecology**, v. 14, n. 2, p. 270-285, 2010.
- HEVNER, Alan R. *et al.* Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

- HIDALGO, César A.; HAUSMANN, Ricardo. The building blocks of economic complexity. **Proceedings of the national academy of sciences**, 106.26: 10570-10575, 2009.
- HUGGINS, Robert; THOMPSON, Piers. Entrepreneurship, innovation and regional growth: a network theory. **Small business economics**, v. 45, p. 103-128, 2015.
- HUMPHREY, John; SCHMITZ, Hubert. The triple C approach to local industrial policy. **World development**, v. 24, n. 12, p. 1859-1877, 1996a.
- HUMPHREY, John; SCHMITZ, Hubert. Trust and economic development. 1996b.
- HWANG, Victor W.; HOROWITT, Greg. The rainforest: The secret to building the next Silicon Valley. **(No Title)**, 2012.
- HYRYNSALMI, Sami; MÄNTYMÄKI, Matti. Is ecosystem health a useful metaphor? towards a research agenda for ecosystem health research. In: **Challenges and Opportunities in the Digital Era: 17th IFIP WG 6.11 Conference on e-Business, e-Services, and e-Society, I3E 2018, Kuwait City, Kuwait, October 30–November 1, 2018, Proceedings 17**. Springer International Publishing, p. 141-149, 2018.
- IACOBUCCI, Donato. Designing and implementing a smart specialisation strategy at regional level: Some open questions. **Scienze regionali: Italian Journal of regional Science**. 13, 1, p. 107-126, 2014.
- IANSTITI, Marco; LEVIEN, Roy. Strategy as ecology. **Harvard business review**, v. 82, n. 3, p. 66-76, 2004a.
- IANSTITI, Marco; LEVIEN, Roy. Creating value in your business ecosystem. **Harvard Business School—Working Knowledge [online] Available: <http://hbswk.hbs.edu>**, 2004b.
- IARAUCARIA. Paraná 2040: rotas estratégicas de CT&I. Disponível em: <https://www.iaraucaria.pr.gov.br/parana-2040/>. Acesso em 26/10/2024.
- IGOLKINA, Anna A.; MESHCHERYAKOV, Georgy. semopy: A python package for structural equation modeling. **Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal**, 27.6: 952-963, 2020.
- IIZUKA, Michiko; HOLLANDERS, Hugo. The need to customise innovation indicators in developing countries. **UNU-MERIT Working Paper Series. The Netherlands: Maastricht University**, 2017.
- INGSTRUP, Mads Bruun; AARIKKA-STENROOS, Leena; ADLIN, Nillo. When institutional logics meet: Alignment and misalignment in collaboration between academia and practitioners. **Industrial Marketing Management**, v. 92, p. 267-276, 2021.

- ISCKIA, Thierry; LESCOP, Denis. Platform-based ecosystems: leveraging network centric innovation. **Understanding Business Ecosystems: How firms succeed in the new world of convergence**, p. 97-115, 2013.
- ISCKIA, Thierry; LESCOP, Denis. Strategizing in Platform-based ecosystems: Leveraging Core Processes for Continuous Innovation. **Communications & strategies**, n. 99, 2015.
- ISENBERG, Daniel J. How to start an entrepreneurial revolution. **Harvard business review**, v. 88, n. 6, p. 40-50, 2010.
- ISENBERG, D. The entrepreneurship ecosystem strategy as a new paradigm for economic policy: Principles for cultivating entrepreneurship. **Institute of International European Affairs**, 2011.
- IZSAK, K; MARKIANIDOU, P; LUKASH, R; WASTYN. The impact of the crisis on research and innovation policies. Study for the European Commission DG Research by Technopolis Group Belgium and Idea Consult, 2013.
- JACOBIDES, M. G.; CENNAMO, C.; GAWER, A. Towards a theory of ecosystems. **Strategic management journal**, v. 39, n. 8, p. 2255-2276, 2018.
- JACOBIDES, M.; CENNAMO, Carmelo; GAWER, Annabelle. Industries, ecosystems, platforms, and architectures: Rethinking our strategy constructs at the aggregate level. **Unpublished manuscript**, 2015.
- JACOBIDES, M.; VELOSO, F.; WOLTER, C. Ripples through the value chain and positional bottlenecks: innovation and profit evolution in a competitive setting. **London School of Business, London**, 2014.
- JACOBS, Jane. Strategies for helping cities. **The American Economic Review**, 59.4: 652-656, 1969.
- JAFFE, Adam B. Technological opportunity and spillovers of R&D: evidence from firms' patents, profits and market value. 1986.
- JAMES, Gareth, et al. *An introduction to statistical learning: with applications in R*. New York: springer, 2013.
- JÄRVI, Henna; KÄHKÖNEN, Anni-Kaisa; TORVINEN, Hannu. When value co-creation fails: Reasons that lead to value co-destruction. **Scandinavian Journal of Management**, v. 34, n. 1, p. 63-77, 2018.
- JOHNSON, Evan *et al.* A framework and databases for measuring entrepreneurial ecosystems. **Research Policy**, v. 51, n. 2, p. 104398, 2022.

- JOSHI, Pusp Raj; ISLAM, Shareeful. E-government maturity model for sustainable E-government services from the perspective of developing countries. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1882, 2018.
- JUCEVIČIUS, Giedrius; GRUMADAITĖ, Kristina. Smart development of innovation ecosystem. **Procedia-social and behavioral sciences**, v. 156, p. 125-129, 2014.
- KANDIAH, Gajen; GOSSAIN, Sanjiv. Reinventing value: The new business ecosystem. **Strategy & leadership**, v. 26, n. 5, p. 28-33, 1998.
- KAO, John. **Innovation nation: How America is losing its innovation edge, why it matters, and what we can do to get it back**. Simon and Schuster, 2007.
- KAPOOR, Rahul. Ecosystems: broadening the locus of value creation. **Journal of Organization Design**, v. 7, n. 1, p. 1-16, 2018.
- KATZ, Raul; CALLORDA, Fernando. Accelerating the development of Latin American digital ecosystem and implications for broadband policy. **Telecommunications Policy**, 42.9: 661-681, 2018.
- KENDALL, Alex; GAL, Yarin; CIPOLLA, Roberto. Multi-task learning using uncertainty to weigh losses for scene geometry and semantics. *In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. p. 7482-7491, 2018.
- KENNEY, Martin *et al.* Platforms and industrial change. **Industry and Innovation**, v. 26, n. 8, p. 871-879, 2019.
- KERR, William R.; NANDA, Ramana; RHODES-KROPF, Matthew. Entrepreneurship as experimentation. **Journal of Economic Perspectives**, v. 28, n. 3, p. 25-48, 2014.
- KERR, William R.; NANDA, Ramana. Financing innovation. **Annual Review of Financial Economics**, v. 7, n. 1, p. 445-462, 2015.
- KETELS, Christian. Recent research on competitiveness and clusters: what are the implications for regional policy? **Cambridge Journal of Regions, Economy and Society**, v. 6, n. 2, p. 269-284, 2013.
- KHAN, Naseer Abbas; KHAN, Ali Nawaz. What followers are saying about transformational leaders fostering employee innovation via organisational learning, knowledge sharing and social media use in public organisations? **Government Information Quarterly**, v. 36, n. 4, p. 101391, 2019.
- KINDER, Tony *et al.* Governance-as-legitimacy: are ecosystems replacing networks? **Public Management Review**, v. 24, n. 1, p. 8-33, 2022.
- KLAGGE, Britta; MARTIN, Ron; SUNLEY, Peter. The spatial structure of the financial system and the funding of regional business: a comparison of Britain and Germany.

- In: **Handbook on the Geographies of Money and Finance**. Edward Elgar Publishing, 2017. p. 125-155.
- KLEINKNECHT, Alfred; VAN MONTFORT, Kees; BROUWER, Erik. The non-trivial choice between innovation indicators. **Economics of Innovation and new technology**, v. 11, n. 2, p. 109-121, 2002.
- KÖNNÖLÄ, Totti *et al.* Transformative governance of innovation ecosystems. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 173, p. 121106, 2021.
- KORHONEN, Jouni. Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. **Journal of Cleaner production**, v. 9, n. 3, p. 253-259, 2001.
- KOVANOVA, Ekaterina; BADMAEVA, Nogan; ALEKSEEV, Sayan. Demographic factor of intensification of innovation activity of Russian regions. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, p. 19001, 2020.
- KRUGMAN, Paul. Increasing returns and economic geography. **Journal of political economy**, v. 99, n. 3, p. 483-499, 1991.
- KUEBART, Andreas. Open creative labs as functional infrastructure for entrepreneurial ecosystems: Using sequence analysis to explore tempo-spatial trajectories of startups in Berlin. **Research Policy**, v. 51, n. 9, p. 104444, 2022.
- KUHLMAN, Caitlin *et al.* How to foster innovation: A data-driven approach to measuring economic competitiveness. **IBM Journal of Research and Development**, v. 61, n. 6, p. 11: 1-11: 12, 2017.
- KUZNETS, S. *Modern Economic Growth: Rate, Structure, and Spread*. New Haven: Yale University Press, 1966.
- LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, p. 741-761, 2013.
- LALL, Sanjaya. Technological capabilities and industrialization. **World development**, 20.2: 165-186, 1992.
- LANAHAN, Lauren; ARMANIOS, Daniel Erian; JOSHI, Amol M. Inappropriateness penalty, desirability premium: What do more certifications actually signal? **Organization Science**, v. 33, n. 2, p. 854-871, 2022.
- LANAHAN, Lauren; JOSHI, Amol M.; JOHNSON, Evan. Do public R&D subsidies produce jobs? Evidence from the SBIR/STTR program. **Research Policy**, v. 50, n. 7, p. 104286, 2021.
- LAPPI, Tuomas; LEE, Tzong-Ru; AALTONEN, Kirsi. Assessing the health of a business ecosystem: The contribution of the anchoring actor in the formation phase. 2017a.

- LA ROVERE, Renata Lèbre; DE OLIVERIA SANTOS, Guilherme; VASCONCELLOS, Bianca Louzada Xavier. Desafios para a mensuração de Ecossistemas de Inovação e de Ecossistemas de Empreendedorismo no Brasil. **Revista de Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas**, v. 10, n. 1, p. 7, 2021.
- LAWSHE, Charles H. A quantitative approach to content validity. **Personnel psychology**, 28.4, 1975.
- LAWSON, Clive; LORENZ, Edward. Collective learning, tacit knowledge and regional innovative capacity. **Regional studies**, v. 33, n. 4, p. 305-317, 1999.
- LECETA, José Manuel; KÖNNÖLÄ, Totti. Fostering entrepreneurial innovation ecosystems: Lessons learned from the European Institute of Innovation and Technology. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, v. 34, n. 4, p. 475-494, 2021.
- LEPAK, David P.; SMITH, Ken G.; TAYLOR, M. Susan. Value creation and value capture: A multilevel perspective. **Academy of management review**, v. 32, n. 1, p. 180-194, 2007.
- LETEN, Bart *et al.* IP models to orchestrate innovation ecosystems: IMEC, a public research institute in nano-electronics. **California management review**, v. 55, n. 4, p. 51-64, 2013.
- LEYDESDORFF, Loet. The triple helix: an evolutionary model of innovations. **Research policy**, v. 29, n. 2, p. 243-255, 2000.
- LOWE, Ernest A.; EVANS, Laurence K. Industrial ecology and industrial ecosystems. **Journal of cleaner production**, v. 3, n. 1-2, p. 47-53, 1995.
- LUCAS, David S.; FULLER, Caleb S. Entrepreneurship: Productive, unproductive, and destructive—Relative to what? **Journal of Business Venturing Insights**, v. 7, p. 45-49, 2017.
- LUMINEAU, Fabrice; OLIVERIA, Nuno. A pluralistic perspective to overcome major blind spots in research on interorganizational relationships. **Academy of Management Annals**, v. 12, n. 1, p. 440-465, 2018.
- LUNDBERG, Scott M.; LEE, Su-In. A unified approach to interpreting model predictions. **Advances in neural information processing systems**, 30, 2017.
- LUND, Henrik Brynthe; KARLSEN, Asbjørn. The importance of vocational education institutions in manufacturing regions: adding content to a broad definition of regional innovation systems. **Industry and Innovation**, v. 27, n. 6, p. 660-679, 2020.
- LUNDVALL, Bengt-Ake. Product innovation and user-producer interaction. **The Learning Economy and the Economics of Hope**, v. 19, n. 2, p. 19-60, 1985.
- _____. Scope, style, and theme of research on knowledge and learning societies. **Journal of the Knowledge Economy**, v. 1, p. 18-23, 2010.

_____. Why the new economy is a learning economy. **Economia e política industriale. Fascicolo 117, 2003**, p. 1000-1013, 2004.

_____. **Innovation System Research—Where it came from and where it might go**. Globelics-Global Network for Economics of Learning, Innovation, and Competence Building Systems, Aalborg University, Department of Business and Management, 2007.

LUNDVALL, Bengt-Ake; DOSI, G.; FREEMAN, C. Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation. v. 349, p. 369, 1988.

_____. User-producer relationships, national systems of innovation and internationalisation. National systems of innovation: Towards a theory of innovation and interactive learning, 45-67, 1992.

LUSCH, Robert F.; VARGO, Stephen L.; TANNIRU, Mohan. Service, value networks and learning. **Journal of the academy of marketing science**, v. 38, p. 19-31, 2010.

LYNN, Mary R. Determination and quantification of content validity. **Nursing research**. 35.6: 382-386, 1986.

MACCORQUODALE, Kenneth; MEEHL, Paul E. On a distinction between hypothetical constructs and intervening variables. **Psychological review**, v. 55, n. 2, p. 95, 1948.

MACK, Elizabeth; MAYER, Heike. The evolutionary dynamics of entrepreneurial ecosystems. **Urban studies**, v. 53, n. 10, p. 2118-2133, 2016.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Bertrand Brasil, 2007.

MAKADOK, Richard; COFF, Russell. Both market and hierarchy: An incentive-system theory of hybrid governance forms. **Academy of management review**, v. 34, n. 2, p. 297-319, 2009.

MALERBA, Franco. Sectoral systems of innovation and production. **Research policy**, v. 31, n. 2, p. 247-264, 2002.

MALECKI, Edward J.; MALECKI, Edward J. **Technology and economic development: the dynamics of local, regional, and national change**. New York: Longman Scientific & Technical, 1991.

MALMBERG, Anders; MASKELL, Peter. The elusive concept of localization economies: towards a knowledge-based theory of spatial clustering. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 34, n. 3, p. 429-449, 2002.

MAZZUCATO, Mariana. **Mission economy: A moonshot guide to changing capitalism**. Penguin UK, 2021.

- MASON, Colin; BROWN, Ross. Entrepreneurial ecosystems and growth-oriented entrepreneurship. **Final report to OECD, Paris**, v. 30, n. 1, p. 77-102, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana; CAETANO, Penna. **O Sistema Brasileiro de Inovação: Uma proposta de políticas “orientadas por missões”**. Brasília, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016.
- MAZZUCATO, Mariana. El Estado emprendedor. Mitos del sector público frente al sector privado. Barcelona: rba, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana; ROBINSON, Douglas KR. Co-creating and directing Innovation Ecosystems? NASA's changing approach to public-private partnerships in low-earth orbit. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 166-177, 2018.
- MCCANN, Phillip. Urban and Regional Economics. 2001.
- MCCANN, Philip; ORTEGA-ARGILÉS, Raquel. Smart specialisation, entrepreneurship and SMEs: issues and challenges for a results-oriented EU regional policy. **Small Business Economics**, v. 46, p. 537-552, 2016a.
- MCCANN, Philip; ORTEGA-ARGILÉS, Raquel. Smart specialisation: Insights from the EU experience and implications for other economies. **Investigaciones Regionales**, v. 2016, n. 36Specialissue, p. 279-293, 2016b.
- MCINTYRE, David P.; SRINIVASAN, Arati. Networks, platforms, and strategy: Emerging views and next steps. **Strategic management journal**, v. 38, n. 1, p. 141-160, 2017.
- MCKEEVER, Edward; JACK, Sarah; ANDERSON, Alistair. Embedded entrepreneurship in the creative re-construction of place. **Journal of business venturing**, v. 30, n. 1, p. 50-65, 2015.
- MERCAN, Birol; GOKTAS, Din. Components of innovation ecosystems: A cross-country study. **International research journal of finance and economics**, v. 76, n. 16, p. 102-112, 2011.
- MHAMDIA, Amel B. H. S. Performance measurement practices in software ecosystem. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 62, n. 5, p. 514-533, 2013.
- MIKHAYLOVA, Anna A. *et al.* Innovation landscape of the Baltic region. **Administration & Public Management Review**, n. 33, 2019.
- MINCER, Jacob A. Schooling and earnings. In: Schooling, experience, and earnings. NBER, p. 41-63, 1974.
- MISRA, Shruti; WILSON, Denise. Thriving Innovation Ecosystems: Synergy Among Stakeholders, Tools, and People. **arXiv preprint arXiv:2307.04263**, 2023.

- MITCHELL, Gordon. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable development**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.
- MÖLLER, Kristian; HALINEN, Aino. Managing business and innovation networks—From strategic nets to business fields and ecosystems. **Industrial Marketing Management**, v. 67, p. 5-22, 2017.
- MORGAN, Kevin; COOKE, Philip. The associational economy: firms, regions, and innovation. **University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship**, 1998.
- MORGAN, Kevin. Path dependence and the state: the politics of novelty in old industrial regions. In: **Re-framing regional development**. Routledge, p. 318-340, 2013.
- MORRIS, Zackery B.; WEISSBURG, Marc; BRAS, Bert. Ecological network analysis of urban–industrial ecosystems. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, n. 1, p. 193-204, 2021.
- MOWERY, David C.; SAMPAT, Bhaven N. Universities in national innovation systems. 2006.
- MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos. **Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 1997.
- MUELLER, Pamela; VAN STEL, André; STOREY, David J. The effects of new firm formation on regional development over time: The case of Great Britain. **Small Business Economics**, v. 30, p. 59-71, 2008.
- MYRDAL, Gunnar; SITOANG, Paul. Economic theory and under-developed regions. 1957.
- NALEBUFF, Barry J.; BRANDENBURGER, Adam M. Co-opetition: Competitive and cooperative business strategies for the digital economy. **Strategy & leadership**, v. 25, n. 6, p. 28-33, 1997.
- NAMBISAN, Satish; BARON, Robert A. Entrepreneurship in innovation ecosystems: Entrepreneurs' self-regulatory processes and their implications for new venture success. **Entrepreneurship theory and practice**, v. 37, n. 5, p. 1071-1097, 2013.
- NAMBISAN, Satish; SAWHNEY, Mohanbir. Orchestration processes in network-centric innovation: Evidence from the field. **Academy of management perspectives**, v. 25, n. 3, p. 40-57, 2011.
- NAMBISAN, Satish; ZAHRA, Shaker A.; LUO, Yadong. Global platforms and ecosystems: Implications for international business theories. **Journal of International Business Studies**, v. 50, p. 1464-1486, 2019.

- NAVARRO, Mikel; GIBAJA, Juan José. Typologies of innovation based on statistical analysis for European and Spanish regions. In: **Interactive learning for innovation: A key driver within clusters and innovation systems**. London: Palgrave Macmillan UK, 2012. p. 234-274.
- NELSON, Julie A. **Economics for humans**. University of Chicago Press, 2018.
- NELSON, Richard R. **National innovation systems: A comparative analysis**. Oxford University Press, 1993.
- NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. The Schumpeterian tradeoff revisited. **The American economic review**, v. 72, n. 1, p. 114-132, 1982.
- NICOTRA, Melita *et al.* The causal relation between entrepreneurial ecosystem and productive entrepreneurship: A measurement framework. **The Journal of Technology Transfer**, v. 43, p. 640-673, 2018.
- NIKULINA, Irina Evgenyevna; KHOMENKO, Igor Vasilievich. Interdependence of demographic and economic development of regions. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 166, p. 142-146, 2015.
- NONAKA, Lkujiro; TAKEUCHI, Hirotaka; UMEMOTO, Katsuhiko. A theory of organizational knowledge creation. **International journal of technology Management**, 11.7-8: 833-845, 1996.
- NORMANN, Richard; RAMIREZ, Rafael. From value chain to value constellation: Designing interactive strategy. **Harvard business review**, v. 71, n. 4, p. 65-77, 1993.
- NORTH, D. C. **Institutions, Institutional Change and Economic Performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- NUNNALLY J. C., BERNSTEIN I. H. **Psychometric theory** (3rd ed.). New York, NY: McGraw-Hill, 1994.
- MOORE, James F. **The death of competition: leadership and strategy in the age of business ecosystems**. (No Title), 1996.
- OH, Deog-Seong *et al.* Innovation ecosystems: A critical examination. **Technovation**, v. 54, p. 1-6, 2016.
- OLSON, Steve; DAHLBERG, Maria. **Trends in the Innovation Ecosystem: Can Past Successes Help Inform Future Strategies? Summary of Two Workshops**. National Academies Press, 2013.
- OKSANEN, Kaisa; HAUTAMÄKI, Antti. Sustainable innovation: A competitive advantage for innovation ecosystems. **Technology Innovation Management Review**, v. 5, n. 10, 2015.
- OSTROM, Elinor. Beyond markets and states: polycentric governance of complex economic systems. **American economic review**, v. 100, n. 3, p. 641-672, 2010.

- OWEN-SMITH, N.; FRYXELL, John M.; MERRILL, Evelyn H. Foraging theory upscaled: the behavioural ecology of herbivore movement. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1550, p. 2267-2278, 2010.
- OWEN-SMITH, Jason; POWELL, Walter W. Knowledge networks as channels and conduits: The effects of *spillovers* in the Boston biotechnology community. **Organization science**, v. 15, n. 1, p. 5-21, 2004.
- PAPAIOANNOU, Theo; WIELD, David; CHATAWAY, Joanna. Knowledge ecologies and ecosystems? An empirically grounded reflection on recent developments in innovation systems theory. **Environment and Planning C: Government and Policy**, v. 27, n. 2, p. 319-339, 2009.
- PEDREGOSA, Fabian, et al. Scikit-learn: Machine learning in Python. **the Journal of machine Learning research**, 12: 2825-2830, 2011.
- PIDORYCHEVA, Iryna Yu. Innovation ecosystem in contemporary economic researches. **Economy of Industry**, n. 2 (90), p. 54-92, 2020.
- PIDUN, Ulrich; REEVES, Martin; WESSELINK, Edzard. How healthy is your business ecosystem? **MIT Sloan Management Review**, v. 62, n. 3, 2021.
- PIENING, Erk P.; SALGE, Torsten Oliver; SCHÄFER, Sebastian. Innovating across boundaries: A portfolio perspective on innovation partnerships of multinational corporations. **Journal of World Business**, v. 51, n. 3, p. 474-485, 2016.
- PILELIENĖ, Lina; JUCEVIČIUS, Giedrius. A decade of innovation ecosystem development: Bibliometric review of Scopus Database. **Sustainability**, v. 15, n. 23, p. 16386, 2023.
- PITTAWAY, Luke *et al.* Networking and innovation: a systematic review of the evidence. **International journal of management reviews**, v. 5, n. 3-4, p. 137-168, 2004.
- POMBO-JUÁREZ, Laura *et al.* Wiring up multiple layers of innovation ecosystems: Contemplations from Personal Health Systems Foresight. **Technological forecasting and social change**, v. 115, p. 278-288, 2017.
- PORTER, Michael E. Techniques for analyzing industries and competitors. **Competitive Strategy**. New York: Free, v. 1, 1980.
- PORTER, Michael E. The competitive advantage of regions. **Regional studies**, v. 6, n. 7, p. 549-578, 2003.
- PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.
- PUSHPANANTHAN, Gouthanan; ELMQUIST, Maria. Joining forces to create value: The emergence of an innovation ecosystem. **Technovation**, v. 115, p. 102453, 2022.

PUTNAM, Robert D. Bowling alone: The collapse and revival of American community. **Simon Schuster**, 2000.

PUTNAM, Robert D. The prosperous community. *The American Prospect*, 1993, 4.13: 35-42.

RABELO, Ricardo J.; BERNUS, Peter. A holistic model of building innovation ecosystems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, p. 2250-2257, 2015.

RABELO, Ricardo J.; BERNUS, Peter; ROMERO, David. Innovation ecosystems: a collaborative networks perspective. In: **Risks and Resilience of Collaborative Networks: 16th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2015, Albi, France, October 5-7, 2015, Proceedings 16**. Springer International Publishing, p. 323-336, 2015.

RADZIWON, Agnieszka; BOGERS, Marcel; BILBERG, Arne. Creating and capturing value in a regional innovation ecosystem: A study of how manufacturing SMEs develop collaborative solutions. **International Journal of Technology Management**, v. 75, n. 1-4, p. 73-96, 2017.

RAMBERSAD, Giselle; QUESTER, Pascale; TROSHANI, Indrit. Managing innovation networks: Exploratory evidence from ICT, biotechnology and nanotechnology networks. **Industrial marketing management**, v. 39, n. 5, p. 793-805, 2010.

RICHTER, Nicole Franziska, et al. How to apply necessary condition analysis in PLS-SEM. In: **Partial least squares path modeling: Basic concepts, methodological issues and applications**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 267-297.

RITALA, Paavo *et al.* Value creation and capture mechanisms in innovation ecosystems: a comparative case study. **International journal of technology management**, v. 63, n. 3-4, p. 244-267, 2013.

RITALA, Paavo; ALMPANOPOULOU, Argyro. In defense of ‘eco’ in innovation ecosystem. **Technovation**, v. 60, p. 39-42, 2017.

RODRIK, Dani. Industrial policy for the twenty-first century. *Available at SSRN 666808*, 2004.

RODRIGUES, Eliane Araci; GRIEBELER, Marcos Paulo Dhein; TARTARUGA, Iván Gerardo Peyré. Cidades mais inteligentes: um olhar sobre o desenvolvimento territorial de San Rafael (Mendoza, Argentina) e Novo Hamburgo (Rio Grande do Sul, Brasil). **Anais do IX Seminário Internacional sobre Desenvolvimento Regional: Processos, Políticas e Transformações Territoriais**, 2019.

RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. The revenge of the places that don't matter (and what to do about it). **Cambridge journal of regions, economy and society**, v. 11, n. 1, p. 189-209, 2018.

RODRÍGUEZ-POSE, Andrés. The rise of the “city-region” concept and its development policy implications. **European planning studies**, 2008, 16.8: 1025-1046.

- _____. Trade and regional inequality. *Economic Geography*, 2012, 88.2: 109-136.
- ROGERS, Carl R. The interpersonal relationship: The core of guidance. **Harvard educational review**, 1962.
- RONG, Ke, et al. Business ecosystem research agenda: more dynamic, more embedded, and more internationalized. *Asian Business & Management*, 17.3: 167-182, 2018.
- RONG, Ke *et al.* Linking business ecosystem lifecycle with platform strategy: a triple view of technology, application and organisation. **International journal of technology management**, v. 62, n. 1, p. 75-94, 2013.
- ROSENFELD, Stuart A. Bringing business clusters into the mainstream of economic development. **European planning studies**, v. 5, n. 1, p. 3-23, 1997.
- ROTHAERMEL, Frank T. Incumbent's advantage through exploiting complementary assets via interfirm cooperation. **Strategic management journal**, v. 22, n. 6-7, p. 687-699, 2001.
- ROTHSCHILD, M. *Bionomics: Economy as Ecosystem*. New York, Henry Holt and Company, 423p, 1990.
- ROUNDY, Philip T.; BRADSHAW, Mike; BROCKMAN, Beverly K. The emergence of entrepreneurial ecosystems: A complex adaptive systems approach. **Journal of business research**, v. 86, p. 1-10, 2018.
- RUSSELL, Martha G.; SMORODINSKAYA, Nataliya V. Leveraging complexity for ecosystemic innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 114-131, 2018.
- SANTARELLI, Enrico; PIERGIOVANNI, Roberta. Analyzing literature-based innovation output indicators: the Italian experience. **Research Policy**, v. 25, n. 5, p. 689-711, 1996.
- SAPSED, Jonathan; GRANTHAM, Andrew; DEFILLIPPI, Robert. A bridge over troubled waters: Bridging organisations and entrepreneurial opportunities in emerging sectors. **Research Policy**, v. 36, n. 9, p. 1314-1334, 2007.
- SARMA, Sumita; SUNNY, Sanwar A. Civic entrepreneurial ecosystems: Smart city emergence in Kansas City. **Business Horizons**, v. 60, n. 6, p. 843-853, 2017.
- SAXENIAN, AnnaLee. Beyond boundaries: Open labor markets and learning in Silicon Valley. **The boundaryless career: A new employment principle for a new organizational era**, v. 23, p. 39, 1996.
- SCARINGELLA, Laurent; RADZIOW, Agnieszka. Innovation, entrepreneurial, knowledge, and business ecosystems: Old wine in new bottles? **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 59-87, 2018.

- SCHMALENSEE, Richard; EVANS, David S. Industrial organization of markets with two-sided platforms. **Competition policy international**, v. 3, n. 1, 2007.
- SCHUMPETER, Joseph Alois. **Teoria do desenvolvimento econômico**. Editora Nova Cultural, 1997.
- SCHUMPETER, Joseph. Creative destruction. 1942.
- SCHUMPETER, Joseph A.; NICHOL, Archibald J. Robinson's economics of imperfect competition. **Journal of political economy**, v. 42, n. 2, p. 249-259, 1934.
- SHIPILOV, Andrew; GAWER, Annabelle. Integrating research on interorganizational networks and ecosystems. **Academy of management annals**, v. 14, n. 1, p. 92-121, 2020.
- SECRETARIA DE INOVAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Inova RS: do desenho à implementação de uma estratégia centrada em ecossistemas regionais de inovação. Disponível em: <https://www.sict.rs.gov.br/upload/arquivos/202212/29105439-livro-inova-rs.pdf>. Acesso em 26/10/2024.
- SEN, Amartya. **Freedom. Development**, Oxford University Press, Oxford, 1999.
- SEPPELT, Ralf *et al.* A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. **Journal of applied Ecology**, v. 48, n. 3, p. 630-636, 2011.
- SHAW, Duncan R.; ALLEN, Tim. Studying innovation ecosystems using ecology theory. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 88-102, 2018.
- SICHE, Raúl *et al.* Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & sociedade**, v. 10, p. 137-148, 2007.
- SIEGEL, Sidney; CASTELLAN JR, N. John. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento**. Artmed Editora, 2006.
- SLEUWAEGEN, Leo; BOIARDI, Priscilla. Creativity and regional innovation: Evidence from EU regions. **Research Policy**, v. 43, n. 9, p. 1508-1522, 2014.
- SMORODINSKAYA, Nataliya *et al.* Innovation ecosystems vs. innovation systems in terms of collaboration and co-creation of value. 2017.
- SOLLERIO-REBOLLEDO, José Luis; CASTAÑÓN-IBARRA, Rosario; MARTÍNEZ-SALVADOR, Laura Elena. Governance and critical Factors to implement smart specialization strategies in developing countries. the case of the state of Mexico, Mexico. **Revista de economía mundial**, n. 57, 2021.
- SHARMA, Pratyush N., et al. Predictive model assessment and selection in composite-based modeling using PLS-SEM: extensions and guidelines for using CVPAT. **European journal of marketing**, 57.6: 1662-1677, 2023.
- SHMUELI, Galit. To explain or to predict?. *Statistical science*, 2010, 289-310.

- SPIGEL, Ben. The relational organization of entrepreneurial ecosystems. **Entrepreneurship theory and practice**, v. 41, n. 1, p. 49-72, 2017.
- SPIGEL, Ben; HARRISON, Richard. Toward a process theory of entrepreneurial ecosystems. **Strategic entrepreneurship journal**, v. 12, n. 1, p. 151-168, 2018.
- SRNICEK, Nick. Platform capitalism. **Polity**, 2017.
- STAHL, Bernd Carsten. Responsible innovation ecosystems: Ethical implications of the application of the ecosystem concept to artificial intelligence. **International Journal of Information Management**, v. 62, p. 102441, 2022.
- STAM, Erik. Measuring entrepreneurial ecosystems. **Entrepreneurial ecosystems: Place-based transformations and transitions**, p. 173-197, 2018.
- _____. Entrepreneurial ecosystems and regional policy: a sympathetic critique. **European planning studies**, v. 23, n. 9, p. 1759-1769, 2015.
- STAM, Erik, et al. Entrepreneurial ecosystems. USE Discussion paper series, 2016.
- STERNBERG, Rolf. Entrepreneurship, proximity and regional innovation systems. **Tijdschrift voor economische en sociale geografie**, v. 98, n. 5, p. 652-666, 2007.
- STORPER, Michael. The regional world: territorial development in a global economy. Guilford press, 1997.
- STORPER, Michael; VENABLES, Anthony J. Buzz: face-to-face contact and the urban economy. **Journal of economic geography**, v. 4, n. 4, p. 351-370, 2004.
- SUDDABY, Roy. Challenges for institutional theory. **Journal of management inquiry**, v. 19, n. 1, p. 14-20, 2010.
- SUSSAN, Fiona; ACS, Zoltan J. The digital entrepreneurial ecosystem. **Small Business Economics**, v. 49, p. 55-73, 2017.
- TANSLEY, Arthur G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. **Ecology**, v. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.
- TAVASSOLI, Sam; CARBONARA, Nunzia. The role of knowledge variety and intensity for regional innovation. **Small Business Economics**, v. 43, n. 2, p. 493-509, 2014.
- TEECE, David J. Profiting from technological innovation: Implications for integration, collaboration, licensing and public policy. **Research policy**, v. 15, n. 6, p. 285-305, 1986.
- TEECE, David J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. **Strategic management journal**, v. 28, n. 13, p. 1319-1350, 2007.

- TEECE, David J. Dynamic capabilities and entrepreneurial management in large organizations: Toward a theory of the (entrepreneurial) firm. **European economic review**, v. 86, p. 202-216, 2016.
- THOMAS, Llewellyn DW; AUTIO, Erkko; GANN, David M. Processes of ecosystem emergence. **Technovation**, v. 115, p. 102441, 2022.
- THOMAS, Llewellyn DW; SHARAPOV, Dmitry; AUTIO, Erkko. Linking entrepreneurial and innovation ecosystems: The case of AppCampus. In: **Entrepreneurial ecosystems and the diffusion of startups**. Edward Elgar Publishing, 2018. p. 35-64.
- THOMPSON, Maria. Social capital, innovation and economic growth. **Journal of behavioral and experimental economics**, v. 73, p. 46-52, 2018.
- THORNTON, Patricia H.; OCASIO, William. Institutional logics and the historical contingency of power in organizations: Executive succession in the higher education publishing industry, 1958–1990. **American journal of Sociology**, v. 105, n. 3, p. 801-843, 1999.
- TIDD, Joe; BESSANT, John. Innovation management challenges: From fads to fundamentals. **International Journal of Innovation Management**, v. 22, n. 05, p. 1840007, 2018.
- TIITS, Marek; KALVET, Tarmo; MÜRK, Imre. Smart specialisation in cohesion economies. **Journal of the Knowledge Economy**, v. 6, p. 296-319, 2015.
- TIITS, Marek *et al.* Catching up, forging ahead or falling behind? Central and Eastern European development in 1990–2005. **Innovation: The European Journal of Social Science Research**, v. 21, n. 1, p. 65-85, 2008.
- TIWANA, Amrit. **Platform ecosystems: Aligning architecture, governance, and strategy**. Newnes, 2013.
- TSUJIMOTO, Masaharu *et al.* A review of the ecosystem concept—Towards coherent ecosystem design. **Technological forecasting and social change**, v. 136, p. 49-58, 2018.
- URTI, Cecilia Tomassini. Public policies to orient science, technology, and innovation in healthcare towards inclusive development: evidence from Brazil. In: **Innovation in Developing and Transition Countries**. Edward Elgar Publishing, p. 86-108, 2017.
- UYARRA, Elvira; FLANAGAN, Kieron. Reframing regional innovation systems: Evolution, complexity and public policy 1. In: **Re-framing regional development**. Routledge, p. 146-163, 2013.
- UYARRA, Elvira *et al.* Understanding regional innovation policy dynamics: Actors, agency and learning. **Environment and Planning C: Politics and Space**, v. 35, n. 4, p. 559-568, 2017.

- VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, William; PETTER, Stacie. Design science research in information systems. **January**, v. 20, p. 2004, 2004.
- VALKOKARI, Katri. Business, innovation, and knowledge ecosystems: How they differ and how to survive and thrive within them. **Technology innovation management review**, v. 5, n. 8, 2015.
- VAN BEERS, Cees; ZAND, Fardad. R&D cooperation, partner diversity, and innovation performance: an empirical analysis. **Journal of Product Innovation Management**, v. 31, n. 2, p. 292-312, 2014.
- VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. FGV Editora, 2005.
- VAN DER BORGH, Michel; CLOODT, Myriam; ROMME, A. Georges L. Value creation by knowledge-based ecosystems: evidence from a field study. **R&D Management**, v. 42, n. 2, p. 150-169, 2012.
- VAN DIJCK, José; POELL, Thomas; DE WAAL, Martijn. **The platform society: Public values in a connective world**. Oxford university press, 2018.
- VAN GESTEL, Nicolette; GROTENBREG, Sanne. Collaborative governance and innovation in public services settings. **Policy & Politics**, v. 49, n. 2, p. 249-265, 2021a.
- _____. Big dreams and small steps: understanding regional policy networks and what they achieve. **LSE European Politics and Policy (EUROPP) blog**, 2021b.
- VERHEUL, Ingrid; CARREE, Martin; SANTARELLI, Enrico. Regional opportunities and policy initiatives for new venture creation. **International Small Business Journal**, v. 27, n. 5, p. 608-625, 2009.
- VON HIPPEL, Eric. **The sources of innovation**. Gabler, 2007.
- WALLNER, Thomas; MENRAD, Martin. Extending the innovation ecosystem framework. In: **Proceedings of XXII ISPIM Conference**. 2011.
- WALRAVE, Bob *et al.* A multi-level perspective on innovation ecosystems for path-breaking innovation. **Technological forecasting and social change**, v. 136, p. 103-113, 2018.
- WEBER, Michael L.; HINE, Michael J. Who inhabits a business ecosystem? The technospecies as a unifying concept. **Technology Innovation Management Review**, v. 5, n. 5, 2015.
- WEI, Yifan. Regional governments and opportunity entrepreneurship in underdeveloped institutional environments: An entrepreneurial ecosystem perspective. **Research Policy**, v. 51, n. 1, p. 104380, 2022.

WELTER, Friederike; SMALLBONE, David. Institutional perspectives on entrepreneurial behavior in challenging environments. **Journal of small business management**, v. 49, n. 1, p. 107-125, 2011.

WILLIAMSON, Oliver E. Markets and hierarchies: analysis and antitrust implications: a study in the economics of internal organization. **University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship**, 1975.

WILLIAMSON, Oliver E. Reflections on the new institutional economics. **Journal of Institutional and Theoretical Economics**, H. 1: 187-195, 1985.

WOLFE, David A. Social capital and cluster development in learning regions. **development**, v. 1999, p. 2000, 1998.

WU, Jinxi *et al.* From “transplant with the soil” toward the establishment of the innovation ecosystem: A case study of a leading high-tech company in China. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 222-234, 2018.

WUCHTY, Stefan; JONES, Benjamin F.; UZZI, Brian. The increasing dominance of teams in production of knowledge. **Science**, v. 316, n. 5827, p. 1036-1039, 2007.

WUYTS, Stefan; DUTTA, Shantanu. Benefiting from alliance portfolio diversity: The role of past internal knowledge creation strategy. **Journal of Management**, v. 40, n. 6, p. 1653-1674, 2014.

YAGHMAIE, Pegah; VANHAVERBEKE, Wim. Identifying and describing constituents of innovation ecosystems: A systematic review of the literature. **EuroMed Journal of Business**, v. 15, n. 3, p. 283-314, 2020.

ZHANG, Yufeng; GREGORY, M.; SHI, Y. J. Global engineering networks: the integrating framework and key patterns. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 221, n. 8, p. 1269-1283, 2007.

ZUCKER, Lynne G.; DARBY, Michael R. Virtuous circles in science and commerce. **Papers in Regional Science**, 2007, 86.3: 445-471.

ANEXO A – FONTES DE DADOS MAPEADAS

FONTE	LINK
Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL)	https://dados.gov.br/dados/conjuntos-dados/inventario-de-bases-de-dados-anatel
Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (ANPROTEC)	https://anprotec.org.br/site/wp-content/uploads/2022/01/ParquesTecnologicosBrasil-2021-Final-vr.pdf
Atlas Brasil	https://www.atlasbrasil.org.br/
Catálogo de Teses e Dissertações - Brasil	https://dadosabertos.capes.gov.br/group/catalogo-de-teses-e-dissertacoes-brasil
ComexStat	https://comexstat.mdic.gov.br/pt/home
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)	https://memoria.cnpq.br/web/portal-lattes/extracoes-de-dados
Crunchbase	https://www.crunchbase.com/
Estatística Bancária Mensal por município (ESTBAN)	https://www.bcb.gov.br/estatisticas/estatisticabancariamunicipios
Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)	http://www.finep.gov.br/
Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS)	https://fapergs.rs.gov.br/inicial
Índice de Progresso Social (IPS) Brasil	https://ipsbrasil.org.br/
Índice Municipal da Educação do Rio Grande do Sul (IMERS)	https://imersvis.dee.rs.gov.br/
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Agregados	https://servicodados.ibge.gov.br/api/docs/agregados?versao=3
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Malha	https://servicodados.ibge.gov.br/api/docs/malhas?versao=2
Instituto de Estudos para Políticas de Saúde (IEPS)	https://ieps.org.br/
Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) Data	http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx
Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI)	https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/LoginController?action=login
Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) Data	https://www.gov.br/inep/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/inep-data
Mapa de Empresas	https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/mapa-de-empresas/painel-mapas-de-empresas
Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCIT)	https://www.gov.br/mcti/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dados-abertos
Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS)	https://dados.gov.br/dados/organizacoes/visualizar/ministerio-do-desenvolvimento-e-assistencia-social-familia-e-combate-a-fome
Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (Pintec) semestral	https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/marco/pintec-semestral-especialistas-debtem-inovacao-na-industria-brasilERla
Relação Anual de Informações Sociais (RAIS)	https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br
Superior Tribunal de Justiça (STJ) Datajud	https://dadosabertos.web.stj.jus.br/dataset/api-publica-datajud
Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul (TCE/RS)	https://dados.tce.rs.gov.br/dataset?res_format=JSON

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

ANEXO B – MEMBROS DO COMITÊ TÉCNICO DA MMLN

NOME	ENTIDADE
Alexandre Stroher	ULBRA
Cristiano Max PinhERIo	PUC
Daiana Monzon	FEEVALE
Daniel Laguna	PUC/RS
Denise Zaffari	UNISINOS
Educar para inovar – SICT	Unisinos
Eliane D'avila	Abimen
Gabriella Thais Schorn	IENH Novo Hamburgo
Guto Ortac	Comunidade Sinos Valley
Henrique Gerster	AGTI
Henrique Gestner	AGTI
Ingridi Bortolaso	Unilasalle
Ione Sardão	CRA
Janine ViERlA	Escola Aplicação Feevale
João Neto	SEBRAE
Jorge Krug	Assespro – RS
Laura Dalla Zen	UNISINOS
Lucas Meihart	SICREDI PIONERIA
Marcelo Curth	FEEVALE
Marcelo Menna Barreto Schwarcke	FUNDAÇÃO UFCSPA
Marcio R Machado da Silva	Instituto 51 e Embrapii
Marcio Telles Portal	IF Osório
Mario Palma	Palma IoT
Mary Sandra Guerra Ashton	Feevale
Maurício Farias Cardoso	Federasul
Moema Nunes	FACCAT e FEEVALE
Morgana Piazenski	FundMed e South Collab
Nadia May Ibias	Educar para inovar – SICT
Paula Tarrasconi Schmitz	Prefeitura de Gravataí
Paulo Kendzerski	ITD
Rafaela Trizotto	Rede RS Startup
Robson Andrei	Prefeitura de Gravataí
Sandra Heck	iColab - empresa
Sara Borelli	NAU
Valesca Reichelt	Educate e IFRS Ipanema POA

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

ANEXO C – DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES

I1: Utilizar da intensidade de colaboração entre universidade-indústria-empresa. I2: Utilizar da densidade de mecanismos de geração de empreendimentos inovadores presentes na região. I3: Utilizar da taxa de profissionais técnico-científicos disponíveis na região. I4: Utilizar da disponibilidade de uma força de trabalho altamente qualificada na região. I5: Utilizar do percentual de investimento público em educação na região. I6: Utilizar da complexidade setorial de atores presentes no ecossistema regional de inovação. I7: Utilizar da concentração geográfica de empresas e instituições de determinado setor na região. I8: Utilizar da variedade setorial de atores presentes no ecossistema regional de inovação. I9: Utilizar da densidade de acesso à rede de internet na região. I10: Utilizar da densidade de banda larga fixa na região. I11: Utilizar da densidade da telefonia móvel na região. I12: Utilizar da densidade da rede de transporte na região. I13: Utilizar da densidade de cobertura de internet na região. I14: Utilizar do volume de editais publicados para a região. I15: Utilizar do percentual sob a receita de investimentos de cada ator do ecossistema regional de inovação em P&D no período. I16: Utilizar do volume de oportunidades de investimento governamentais disponibilizados na região. I17: Utilizar do tempo de mercado dos atores dos ecossistemas regionais de inovação como uma aproximação para a expertise empresarial. I18: Utilizar da proporção de despesas públicas em P&D em relação ao PIB. I19: Utilizar da taxa de transações de capital de risco na região. I20: Utilizar da acessibilidade à soluções financeiras internas. I21: Utilizar do Índice de Gestão Descentralizada dos Municípios (IGDM) como aproximação para a capacidade da gestão pública para a inovação. I22: Utilizar da acessibilidade à soluções financeiras externas. I23: Utilizar da densidade de pessoas formadas na área jurídica na região. I24: Utilizar da capacidade do ator do ecossistema regional de inovação de integrar e aplicar conhecimentos. I25: Utilizar da taxa de transferência de conhecimento tecnológico em Instituições de Pesquisa e/ou Instituições de Ensino Superior. I26: Medir a taxa de crescimento anual do ator do ecossistema regional de inovação. I27: Medir a taxa de exportação de bens e serviços intensivos em tecnologia do ecossistema regional de inovação. I28: Medir o retorno do investimento do capital investido pelos atores do ecossistema regional de inovação. I29: Utilizar da taxa de pedidos de patentes aprovadas por mil habitantes do ecossistema regional de inovação. I30: Medir a taxa de aumento do lucro do ator do ecossistema regional de inovação. I31: Utilizar do indicador de produção de inovação baseado na literatura, que mede o grau das inovações geradas e a sua distribuição entre setores a partir da sua publicação em revistas técnicas e comerciais. I32: Medir a taxa de satisfação anual do ator do ecossistema regional de inovação. I33: Utilizar do volume de publicações científicas geradas no período na região. I34: Medir a taxa de importação de bens e serviços intensivos em tecnologia dos atores do ecossistema regional de inovação. I35: Utilizar da taxa de crescimento anual de geração de empregos. I36: Utilizar da proporção de *startups* presentes na região. I37: Utilizar do nível de atividade empreendedora da região. I38: Utilizar da taxa de empresas gazelas presentes na região. I39: Utilizar da taxa de crescimento anual do Produto Interno Bruto (PIB). I40: Utilizar da taxa líquida de empresas abertas/fechadas anual na região. I41: Utilizar do componente saúde e bem-estar do IPS BRASIL. I42: Utilizar da taxa de migração líquida de pessoas com idade economicamente ativa da região. I43: Utilizar da taxa do nível de instrução da parcela da população em idade economicamente ativa da região. I44: Utilizar do componente Qualidade do Meio Ambiente disponibilizado pelo IPS Brasil.

ANEXO D – AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS SUGESTÕES DE INDICADORES DO COMITÊ TÉCNICO DA MMLN

Quadro 8 - Avaliação qualitativa da sugestão de indicadores pelos membros do Comitê Técnico da MMLN do Programa Inova/RS

D	SUGESTÃO	VIÁVEL
D1	Observatório Social do Brasil [Fonte: OSBrasil]	NÃO
	Índice de Qualidade das Instituições de Ensino Superior [Fonte: MEC/INEP]	SIM
	Densidade de Laboratórios de P&D [Fonte: CNPq/FINEP]	<i>*Web scrapping</i>
	Taxa de Retenção de Talentos Formados na Região [Fonte: RAIS/MTE]	SIM
	Índice de Conectividade Internacional [Fonte: ANAC]	NÃO
	Densidade de Espaços de <i>Coworking</i> e Fablabs [Fonte: ANPROTEC]	NÃO
	IDH Municipal [Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano]	NÃO
	Índice de Educação da População [Fonte: IBGE]	NÃO
	Escolas técnicas na região [Fonte: E-MEC]	SIM
	Instituições de Ensino Superior na Região [Fonte: E-MEC]	SIM
	Cursos de Ensino Superior na região [Fonte: E-MEC]	SIM
D2	Densidade de Fundos de Venture Capital e <i>Angel Investors</i> [Fonte: ABVCAP]	NÃO
	Taxa de Aprovação de Projetos em Editais de Inovação [Fonte: FINEP/FAPERGS]	NÃO
	Taxa de Utilização de Incentivos Fiscais para P&D [Fonte: Receita Federal/MCTIC]	NÃO
D3	Taxa de Produtos/Serviços Novos Lançados no Mercado [Fonte: PINTEC semestral]	SIM
D4	Taxa de Empregos em Setores de Alta Tecnologia [Fonte: RAIS/MTE]	SIM
	Renda Média dos Trabalhadores em Setores Inovadores [Fonte: RAIS/MTE]	NÃO

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Nota: D: dimensão. D1: Facilitadores de valor; D2: Suportadores de valor; D3: Inovação Realizada; D4: Resultados da proposta de valor.

ANEXO E – MODELO TEÓRICO ATUALIZADO

Quadro 9 - Estruturação do modelo para mensuração de desempenho de ERIs

D	ÍNDICE	INDICADOR
D1	Inovação em Recursos Humanos	i) Disponibilidade de uma força de trabalho altamente qualificada; ii) Intensidade da colaboração entre universidade-indústria/empresa; iii) Taxa de profissionais técnico-científicos; iv) Percentual de investimento público em Manutenção e Desenvolvimento da Educação v) Índice de Qualidade das Instituições de Ensino Superior vi) Taxa de Retenção de Talentos Formados na Região vii) Escolas Técnicas na região viii) Instituições de Ensino Superior na região ix) Cursos de Ensino Superior na região
	Acesso à TICs	i) Densidade de acesso a rede de internet
	Acesso à infraestrutura de Inovação	Densidade de mecanismos de geração de empreendimentos inovadores presentes na região. Parques tecnológicos, Incubadoras, Aceleradoras.
	Densidade da rede de atores	i) Concentração geográfica de empresas de um determinado setor
	Complexidade da rede de atores	i) Taxa de Diversidade Econômica; ii) Taxa de Complexidade Econômica
D2	Quebradores de barreiras tecnológicas	i) Proporção da despesa pública em P&D em relação ao PIB iii) Percentual sob receita de investimentos de cada ator em P&D no período; iv) Nível de Experiência dos atores do ecossistema em sua indústria
	Quebradores de barreiras financeiras	i) Volume de oportunidades de investimento governamentais ii) Volume de oportunidades de editais
	Quebradores de barreiras de base legal	i) Presença de pessoas especializadas da área jurídica na região ii) Taxa de instrução de gestão pública
D3	Patentes	i) Taxa de pedidos de patentes aprovados por mil habitantes
	Conhecimento apropriado	i) Transferência de conhecimento e tecnologia com instituições de pesquisa e ensino ii) Volume de publicações científicas geradas no período
	Produtos/Serviços desenvolvidos	i) Taxa de Produtos/Serviços Novos Lançados no Mercado
	Valor capturado	i) Retorno do investimento de capital no nível do ecossistema ii) Taxa de exportação de bens e serviços intensivos em tecnologia
D4	Efeitos econômicos	i) Taxa de crescimento de geração de emprego; ii) Taxa de crescimento do produto interno bruto iii) Nível de atividade empreendedora iv) Taxa de empresas gazelas
	Efeitos sociais	i) Componente Saúde e Bem-Estar
	Efeitos ambientais	i) Componente Qualidade do Meio Ambiente

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Nota: D: Dimensão. D1: Facilitadores de valor; D2: Suportadores de valor; D3: Inovação Realizada; D4: Resultados da proposta de valor.

ANEXO F – QUADRO-RESUMO DE VARIÁVEIS CRIADAS

(continua)

INDICADOR	FÓRMULA	ESCALA DE INTERPRETAÇÃO	IMPACTO ESPERADO NO ECOSISTEMA
Equidade de Acesso (IEA)	$IEA = \frac{\text{Taxa de alfabetização de Mulheres}}{\text{Taxa de alfabetização de Homens}}$	1,0: Equidade Plena <1,0: Barreira Cultural >1,0: Predomínio Feminino	Mede a paridade histórica e a abertura do ecossistema a talentos diversos.
Alfabetização Avançada (IAA)	$IAA = \frac{\text{Taxa de alfabetização da População com 55 anos ou mais}}{\text{Total de pessoas na faixa etária de 55 anos ou mais}}$	>0,90: Maturidade 0,7-0,9: Transição <0,70: Passivo Social	Avalia a densidade do capital humano sênior.
Pipeline de Produção (GPP)	$GPP = \frac{\text{Taxa de Alfabetização Feminina aos 18 anos} - \text{Taxa de Alfabetização Masculina aos 18 anos}}{\text{Taxa de Alfabetização Masculina aos 18 anos}}$	-0: Pipeline Saudável >0: Evasão Masculina <0: Barreiras Femininas	Identifica o "vazamento" de talentos na transição para a maioria.
Retenção Educacional (TRE)	$Reten\tilde{c}\tilde{a}\tilde{o}_n = \frac{\text{Taxa de alfabetização na Idade (n)}}{\text{Total de alfabetização na Idade (n - 1)}}$	→ 1,0: Retenção Alta	Mede a resistência do jovem ao mercado não qualificado em favor da formação.
Dependência Qualificada (IDQ)	$IDQ = \frac{\text{População Não Alfabetizada Total}}{\text{População Alfabetizada (20 a 54 anos)}}$	Baixo (<0,1): Ecossistema Leve >1,0: Evolução Ascendente	Quantifica o passivo social sobre o motor produtivo e a capacidade de reinvestimento.
Resiliência do Cap. Humano (IRCH)	$IRHC = \frac{\text{Alfabetização Jovens (15 - 24 anos)}}{\text{Alfabetização Experientes (25 a 54 anos)}}$	<1,0: Risco de Involução	Compara gerações para medir a aptidão para a requalificação.
Dispersão Geracional (CDGG)	$CDGG = \text{Gap de gênero}_{(15-19 \text{ anos})} - \text{Gap de gênero}_{(60+anos)}$	<0: Ruptura Positiva 0: Inércia Estrutural >0: Retrocesso Cultural	Termômetro de plasticidade cultural.
Massa Crítica (IMC)	$IMC = \frac{\text{População Alfabetizada Total}}{\text{Área Territorial do Município (km}^2\text{)}}$	Alto: Solo Fértil (Sandbox) Baixo: Barreira de Adoção	Determina a viabilidade de mercado para verticais.
Dep. Gênero Tardia (RDGAT)	$RDGAT = \frac{\text{Mulheres Alfabetizadas (60 + anos)}}{\text{Homens Alfabetizados (60 + anos)}}$	>1,0: Matriarcado de Cuidado <1,0: Vulnerabilidade Social	Sensor da infraestrutura invisível e da resiliência das redes de apoio comunitário.
Colaboração Universidade-Indústria/Empresa (CUIE)	$CUIE_i = \frac{(D_{Stem} \times D_{Tech})_i}{(D_{Stem} \times D_{Tech})_{RS}}$	> 1,0: Sinergia Realizada < 1,0: Descompasso Funcional	Revela a probabilidade de encontros produtivos entre pesquisa e setor produtivo.
Conversão de Capital Humano (ICCH)	$ICCH_i = \frac{QL_{ocupação,i}}{QL_{Egressos,i}}$	> 1,0: Hub de Absorção < 1,0: Exportador de Talentos	Diferencia "dormitórios acadêmicos" de centros de emprego de alta tecnologia.
Esforço Educacional Estratégico (IEEE)	$Z_{MDE} = \frac{\% Investido_i - \bar{x}_{RS}}{\sigma_{RS}}$	> +2σ: Vanguarda +1σ a +2σ: Prioridade < μ: Estagnação/Risco	Identifica municípios que tratam a educação como prioridade política.
Densidade de Excelência Acadêmica (DEA)	$DEA_i = \frac{(\text{Alunos IGC}_{4,5} / POP_{1000hab})_i}{(\text{Alunos IGC}_{4,5} / POP_{1000hab})_{RS}}$	> 1,2: Hub de Excelência 0,9 - 1,1: Equilíbrio < 0,8: Vazio de Qualidade	Identifica a autoridade científica instalada no território.
Retenção de Talentos (TRT)	$TRT = \frac{\Delta \text{Vinculos Nível Superior}}{\text{Total Graduados no Ano}}$	> 1,0: Atração de talentos < 1,0: Fuga de talentos	Mede se o município retém o capital que forma.
Infraestrutura Formativa Presencial (DIF-P)	$DIF_i = \frac{D_i}{D_{RS}}$	> 1,2: Âncora Regional 0,9 - 1,2: Atendimento Local < 0,5: Deserto de Infra	Mede a capacidade de geração de conhecimento tácito e fricção inovadora física.
Acesso à Informação Virtual (DIF-V)	$DIF_i = \frac{D_i}{D_{RS}}$	Z-Score alto: Democratização Digital Z-Score baixo: Exclusão Digital	Atua como variável de controle para medir a difusão de conhecimento codificado.
Especialização e Complexidade (IECP)	$IECP = H' \times \text{Cota STEM}$	Alto: Ecossistema Complexo Médio: Especialista Técnico Baixo: Monocultivo/Genérico	Mede a "caixa de ferramentas" tecnológica e a resiliência acadêmica do município.

(continuação)

INDICADOR	FÓRMULA	ESCALA DE INTERPRETAÇÃO	IMPACTO ESPERADO NO ECOSISTEMA
Estoque de Infraestrutura de TIC (I_{TIC})	$I_{TIC} = Norm_{0-100} \left[\ln \ln \left(1 + \frac{\sum_{t=1}^{12} dt}{12} \right) \right]$	0 - 30: Precariedade Digital (Gargalo) 31 - 70: Conectividade em Expansão 71 - 100: Maturidade / Hub Digital (Alta Resiliência)	Mede a "estabilidade do sinal" necessária para suportar fluxos contínuos de dados (IoT, Big Data) e reduz a influência de picos sazonais.
Score de Infraestrutura Regional (SIR)	$SIR_i = \left[\left(\frac{S_{base,i}}{Pop_i} \cdot 1000 \right) + V_{spill,i} \right] \times M_{hub}$	$Z > +1.0$ (Hub Consolidado) $-1.0 < Z < +1.0$ (Zona de Transição) $Z < -1.0$ (Deserto de Inovação)	Define a capacidade física instalada para suportar novos empreendimentos. O indicador corrige a miopia geográfica ao reconhecer que cidades satélites não precisam ter um parque tecnológico próprio se estiverem na zona de influência (<i>spillover</i>) de um Hub, permitindo políticas públicas integradas e não redundantes.
Entropia Setorial (Variedade Relacionada)	$H = - \sum p_i \ln(p_i)$	$\sigma Z < -0,5 \sigma$ (Monocultura): Economia concentrada em poucos CNAEs $-0,5 \sigma \leq Z \leq +1,0 \sigma$ (Diversificação Média) $Z > +1,0 \sigma$ (Policultura Complexa)	A alta entropia aumenta a probabilidade de hibridização, onde soluções de um setor (ex: TI) resolvem problemas de outro (ex: Agronegócio), gerando inovação disruptiva e resiliência econômica.
Índice de Complexidade Setorial (ICS)	$ICS_i = \sum_{k=1}^K \left(\sigma_{i,k} \cdot \frac{1}{1 + U_k} \right)$	$Z < -0.5$: O município possui apenas setores ubíquos, necessários para a vida básica, mas sem diferencial competitivo. $-0.5 \leq Z \leq 1.0$: O município já possui alguma industrialização ou serviços especializados, mas ainda depende de cadeias tradicionais. $Z > 1.0$: O município possui "Atores Raros". A presença destes setores indica um ecossistema capaz de reter talentos e capital intelectual.	Este indicador separa "crescimento inchado" (abrir muitas empresas iguais) de "desenvolvimento real" (adicionar novas capacidades). Ao valorizar o raro, ele incentiva políticas públicas focadas em diversificação inteligente e não apenas em volume de CNPJs.
Elasticidade do Investimento Público (Tração Governamental)	$\ln(Y) = \alpha + \beta \ln(X) + \epsilon$	Zona de Silêncio ($\epsilon_i < 0\$$) Aderência à Tendência ($\epsilon_i \approx 0\$$) Estado Empreendedor ($\epsilon_i > 0\$$)	Ao utilizar o resíduo (ϵ) como métrica, isola-se o efeito do tamanho da cidade. Um município pequeno com $\epsilon > 0$ é considerado mais eficiente na promoção da inovação do que uma cidade grande com $\epsilon < 0$, pois está alocando um esforço fiscal desproporcionalmente alto para criar o futuro.
Intensidade Jurídica (Capacidade Transacional)	$\ln(D_{jur}) = \alpha + \beta \ln(D_{econ}) + \epsilon$	$Z_\epsilon < -0.5$ (Vazio Institucional) $-0.5 \leq Z_\epsilon \leq +1.0$ (Equilíbrio) $Z_\epsilon > +1.0$ (Alta Complexidade)	Mede a capacidade do território de blindar a inovação. Um ecossistema com alta densidade econômica, mas baixo suporte jurídico ($Z_\epsilon < 0$) sofre de insegurança jurídica, dificultando a atração de Capital de Risco que exige compliance rigoroso.
Capacidade Absortiva Institucional (IGD-M)	$Y = \alpha + \beta \log(X) + \epsilon$	$Z_\epsilon < -0.5$ (Gargalo de Execução) $-0.5 \leq Z_\epsilon \leq +1.0$ (Conformidade) $Z_\epsilon > +1.0\$$ (Alta Proficiência)	Como $\beta \approx 0$, este indicador serve como um "teste de realidade". Ele identifica municípios ricos, mas administrativamente inaptos e municípios com recursos limitados, mas alta capacidade de execução. Um alto IGD-M reduz o risco moral para investidores e garante que a prefeitura consiga operacionalizar convênios tecnológicos.
Dinamismo de Inovação (Intensidade de Patentes)	$\ln(Y) = \alpha + \beta \ln(X) + \epsilon$	$Z_\epsilon < -0.5$ (Gap de Inovação) $-0.5 \leq Z_\epsilon \leq +1.0$ (Média Regional) $Z_\epsilon > +1.0$ (Oásis de Eficiência)	O indicador distingue "crescimento econômico" de "desenvolvimento tecnológico". O $\beta < 1$ alerta para a "Armadilha da Renda Média": a região gera riqueza, mas tem dificuldade em escalar a produção de conhecimento na mesma proporção. Apenas os outliers positivos ($Z > 1$) conseguiram superar essa barreira estrutural.
Competitividade Global (Exportações High-Tech)	$\ln(Y) = \alpha + \beta \ln(X) + \epsilon$	$Z_\epsilon < -0.5$ (Mercado Doméstico) $-0.5 \leq Z_\epsilon \leq +1.0$ (Transição) $Z_\epsilon > +1.0\$$ (Global Players)	Um alto resíduo positivo evidencia o ROI do Capital Humano e da Base Legal. A presença destes exportadores gera <i>Spillover</i> tecnológico: a exigência de certificações internacionais obriga a qualificação de toda a cadeia de fornecedores locais, elevando o nível técnico do ecossistema.

Fonte: elaborado pelo autor (2026).

ANEXO G – ESCORE FINAL DOS MUNICÍPIOS DA MMLN

MUNICÍPIO	ESCORE ECONÔMICO	ESCORE SOCIAL	ESCORE AMBIENTAL	ESCORE SISTÊMICO	ESCORE
PORTO ALEGRE	1.9022	0.1391	-0.1009	0.6371	8.7955
CANOAS	0.6582	0.7831	0.3663	0.3247	7.4625
ARAMBARE	0.5424	0.2908	0.8498	0.2437	6.775
PRESIDENTE LUCENA	0.9433	-0.1384	0.188	0.5754	5.4088
CHARQUEADAS	-0.1381	0.5063	0.1526	0.6723	4.282
MARIANA PIMENTEL	-0.2558	0.6811	0.2791	0.4235	4.0711
MINAS DO LEAO	0.361	-0.0304	1.1078	-0.2974	4.0203
MONTENEGRO	0.2098	0.0577	0.5067	0.2874	3.7556
VIAMAO	0.2717	0.0511	0.4554	0.1892	3.405
SANTO ANTONIO DA PATRULHA	0.3905	0.0288	0.3577	0.1052	3.0743
BROCHIER	-0.2946	0.2442	0.626	0.2639	3.0674
GLORINHA	-0.0286	0.0459	0.7055	0.1297	3.0638
BARRA DO RIBEIRO	0.4577	-0.0686	0.5863	-0.1375	2.9079
MAQUINE	0.3217	0.0044	0.6126	-0.1157	2.8825
CAPIVARI DO SUL	0.5456	-0.0284	0.5141	-0.3208	2.4312
BUTIA	-0.3387	-0.2193	1.0192	0.1779	2.3808
CERRO GRANDE DO SUL	-0.1862	0.4235	0.3248	0.0095	2.0765
BARAO DO TRIUNFO	-0.362	0.6307	0.6462	-0.3659	2.0328
NOVA SANTA RITA	0.316	-0.1391	0.3775	0.0158	1.9803
GRAVATAI	0.4333	0.1646	-0.0882	0.0567	1.9245
SENTINELA DO SUL	0.422	0.0707	0.6967	-0.6633	1.799
ELDORADO DO SUL	0.1219	-0.1433	0.4852	0.0245	1.7313
CACHOEIRINHA	0.4409	-0.197	0.1423	0.0888	1.6107
RIOZINHO	-0.4073	0.0226	0.2998	0.4907	1.5426
DOM FELICIANO	-0.177	0.5292	0.5199	-0.4577	1.5124
XANGRI-LA	0.3687	0.0967	-0.1907	0.1043	1.2692
NOVO HAMBURGO	0.3682	-0.1191	-0.3735	0.4745	1.1689
ALVORADA	0.2585	0.2109	-0.4783	0.3457	1.1338
PARECI NOVO	-0.1073	-0.1095	0.6035	-0.0942	1.0822
CRISTAL	-0.2019	0.2331	0.4968	-0.2542	1.0237
TAQUARA	-0.0998	0.1315	0.0056	0.2429	1.0189
CAPELA DE SANTANA	-0.2013	0.1439	0.4639	-0.1353	1.0163
SERTA0 SANTANA	-0.345	0.2722	0.1948	0.0835	0.8039
BARAO	0.1073	-0.0235	0.2269	-0.1241	0.6487
OSORIO	-0.038	-0.0283	0.0051	0.2364	0.6354
MOSTARDAS	0.223	-0.2432	0.1906	-0.0016	0.5654
TORRES	0.2224	0.4601	-0.8779	0.3467	0.4644
PALMARES DO SUL	-0.0451	-0.1143	0.1672	0.0913	0.3698
PORTAO	0.0941	-0.1527	-0.1337	0.2792	0.2929
PAROBE	-0.189	0.2196	-0.5281	0.5694	0.2823
SAO LEOPOLDO	0.3372	-0.0501	-0.6017	0.3936	0.2004
GUAIBA	0.3537	-0.3646	0.2218	-0.1427	0.1817
TAPES	0.1007	0.043	0.0441	-0.1363	0.1618
TRIUNFO	-0.4211	-0.5722	0.9525	0.048	0.1492
TUPANDI	-0.3132	0.0409	0.1124	0.1404	-0.0014
SAO SEBASTIAO DO CAI	-0.0428	0.1223	-0.1819	0.0629	-0.1385
MARATA	-0.4129	0.1057	0.4316	-0.197	-0.166
SAPIRANGA	0.0454	-0.0094	-0.2458	0.1417	-0.2573
CARAA	-0.1136	0.1451	0.1026	-0.2269	-0.3095
TRES CACHOEIRAS	-0.1362	0.035	-0.4919	0.4999	-0.3132
ESTEIO	-0.0373	0.1118	-0.6484	0.4548	-0.432
SAO JERONIMO	-0.209	-0.2962	0.8258	-0.5113	-0.6138
ESTANCIA VELHA	-0.0633	0.0322	-0.6158	0.4736	-0.6171
IGREJINHA	-0.1061	-0.087	-0.3932	0.4016	-0.6416
IVOTI	-0.0443	-0.1233	-0.2146	0.1612	-0.7805
ARROIO DOS RATOS	-0.1901	-0.2537	0.3259	-0.1231	-0.8074
CAMPO BOM	0.0942	0.0529	-0.6748	0.2719	-0.9476
SAO VENDELINO	-0.1623	-0.1794	-0.1211	0.1848	-0.9554
SAPUCAIA DO SUL	0.068	0.1942	-0.6663	0.0902	-1.1536
ALTO FELIZ	0.0615	0.0749	-0.6477	0.1956	-1.1547
SALVADOR DO SUL	-0.4094	-0.1307	0.1607	0.029	-1.1575
ROLANTE	0.0463	0.0169	-0.1324	-0.2776	-1.2522
BALNEARIO PINHAL	-0.068	-0.0282	-0.4742	0.1424	-1.5222
TRAMANDAI	0.1047	-0.1329	-0.5422	0.1245	-1.6218
CHUVISCA	-0.4503	0.1901	-0.0268	-0.1967	-1.6378
MORRO REUTER	-0.1935	-0.2953	0.1693	-0.154	-1.639
SAO PEDRO DA SERRA	-0.2074	0.093	-0.0798	-0.2942	-1.7048
HARMONIA	0.1496	-0.1696	-0.2574	-0.285	-2.0419
SANTA MARIA DO HERVAL	-0.6998	-0.0264	0.1473	-0.0548	-2.1107
MORRINHOS DO SUL	-0.0319	-0.1427	0.0529	-0.4804	-2.1402
LINHA NOVA	-0.0929	-0.2158	0.3501	-0.6929	-2.2962
TERRA DE AREIA	-0.1972	-0.0513	-0.4052	-0.0207	-2.373
CAPAO DA CANOA	0.3388	-0.1971	-0.8221	0.0094	-2.4796
IMBE	0.3434	-0.2604	-0.7514	-0.0515	-2.6521
CIDREIRA	-0.0662	-0.2398	-0.4396	-0.0319	-2.7649
ITATI	0.0341	-0.1929	-0.0553	-0.5715	-2.8106
MAMPITUBA	-0.1799	0.2377	-0.438	-0.4571	-2.9684
SAO JOSE DO SUL	0.0738	-0.2647	0.0523	-0.6965	-2.9916
VALE REAL	0.1974	-0.1634	-0.4749	-0.3892	-3.013
ARROIO DO SAL	-0.1541	-0.0921	-0.5608	-0.1044	-3.231
FELIZ	-0.0041	-0.0841	-0.5708	-0.315	-3.4875
ARARICA	0.1523	-0.2041	-0.4998	-0.443	-3.5902
TRES FORQUILHAS	-0.6002	0.2966	-0.1147	-0.625	-3.6096
DOIS IRMAOS	-0.2143	-0.0363	-1.0292	0.1769	-3.9118
SAO JOSE DO HORTENCIO	-0.4275	-0.3959	0.1928	-0.5526	-4.1219
NOVA HARTZ	-0.2899	-0.0624	-0.7626	-0.1168	-4.3507
DOM PEDRO DE ALCANTARA	-0.2945	0.0662	-0.7422	-0.3655	-4.726
BOM PRINCIPIO	-0.7548	-0.2753	-0.4868	-0.0933	-5.5925
TRES COROAS	-0.5894	-0.6338	-0.6898	0.2254	-5.8976
LINDOLFO COLLOR	-0.9236	-0.3951	-0.1861	-0.3716	-6.4988

Fonte: elaborado pelo autor (2026).