



Universidade de Brasília

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS MULTIDISCIPLINARES (CEAM)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO, SOCIEDADE E
COOPERAÇÃO INTERNACIONAL (PPGDSCI)

EDUARDO AUGUSTO RODRIGUES BARROS

**POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO À INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL: UMA
ANÁLISE QUANTI-QUALITATIVA DA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ÀS
BARREIRAS INSTITUCIONAIS DE INOVAÇÃO**

BRASÍLIA

2026

EDUARDO AUGUSTO RODRIGUES BARROS

**POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO À INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL: UMA
ANÁLISE QUANTI-QUALITATIVA DA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ÀS
BARREIRAS INSTITUCIONAIS DE INOVAÇÃO**

Esta tese de doutorado é condição parcial para
obtenção do título de doutor em
Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação
Internacional.

Orientador: Prof. Dr. Luiz
Guilherme de Oliveira.

BRASÍLIA

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

EDUARDO AUGUSTO RODRIGUES BARROS

POLÍTICAS DE FINANCIAMENTO À INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL: UMA ANÁLISE
QUANTI-QUALITATIVA DA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ÀS BARREIRAS
INSTITUCIONAIS DE INOVAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Sociedade e
Cooperação Internacional (PPGDSCI) da Universidade de Brasília (UnB), como requisito
parcial para a obtenção do título de Doutor.

Aprovada em: _____ de _____ de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira

Orientador

Universidade de Brasília (UnB) — PPGDSCI/CEAM

Prof. Dr. Sanderson César Macedo Barbalho

Examinador Interno

Universidade de Brasília (UnB) — Departamento de Engenharia de Produção

Prof. Dr. José Manuel Dias Lopes

Examinador Externo

ISEG — Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Raphael Padula

Examinador Externo

Instituto de Economia — Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a todos os amigos e familiares que me apoiaram nessa jornada, principalmente à minha esposa Karla e aos meus filhos Benjamin e Melina.

À CAPES, pelo apoio, por meio do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), que me possibilitou realizar parte desta pesquisa na Universidade de Lisboa, em 2024 (Processo n.º 88881.934524/2024-01).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira, pelo acompanhamento rigoroso e pelo suporte ao longo de todo o percurso.

Ao Prof. Dr. José Manuel Dias Lopes, pelo acolhimento e pelas contribuições inestimáveis durante minha estadia no ISEG — Universidade de Lisboa.

A todos os colegas, amigos, profissionais e professores que, direta ou indiretamente, contribuíram para que eu pudesse pensar, estruturar e refinar esta pesquisa.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição das propostas submetidas e financiadas por linha temática no edital FINEP Tecnologias 4.0	111
Tabela 2 - Distribuição das operações, desembolsos e valor médio por operação do BNDES Inovação Indústria por área tecnológica associada à Indústria 4.0.....	113
Tabela 3 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Máquinas 4.0 por área tecnológica associada à Indústria 4.0	115
Tabela 4 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Inovação por setor CNAE (2018–2024)	117
Tabela 5 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Inovação na Indústria de Transformação por subsetor CNAE (2018–2024).....	119
Tabela 6 - Distribuição das operações e desembolsos do programa BNDES Máquinas 4.0 por setor CNAE (2019–2024).....	123
Tabela 7 - Distribuição regional dos projetos e desembolsos dos programas FINEP Tecnologias 4.0, BNDES Inovação (Indústria de Transformação) e BNDES Máquinas 4.0.....	126
Tabela 8 - Fatores metodológicos e estruturais que condicionam a relação entre financiamento público e taxa de inovação industrial	133

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O ecossistema do financiamento público na inovação 4.0 no Brasil.....	89
Figura 2 - Análise Comparativa dos Programas de Financiamento: Desembolso Total Acumulado vs. Desembolso Médio Anual.....	107
Figura 3 - Comparação Direta no Mesmo Ano (2020): Volume Desembolsado e Valor Médio por Operação.....	108
Figura 4 - Valor Médio por Projeto/Operação — Comparação entre Programas	110
Figura 5 -Mapeamento das áreas tecnológicas da Indústria 4.0 nos desembolsos do BNDES para a Indústria de Transformação (2018–2024).....	116
Figura 6 - Desembolsos do programa BNDES Máquinas 4.0 na Indústria de Transformação por subsetor CNAE (2019–2024)	125
Figura 7 - Valor médio por operação segundo o porte da empresa nos programas BNDES Inovação (Indústria de Transformação, 2018–2024) e BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024)	129

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais modalidades de fomento, programas e instrumentos de apoio à inovação da Finep	91
Quadro 2 - Principais programas da Finep para apoio à Indústria 4.0	93
Quadro 3 - Modalidades de Apoio do BNDES à Indústria 4.0	96
Quadro 4 - Resumo comparativo dos programas de financiamento à Indústria 4.0 no Brasil	104
Quadro 5 - Mapa de convergência entre entrevistados por categoria final	141

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
APEX	Agência Brasileira de Promoção de Exportações
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CF	Categoria Final
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CNC	Controle Numérico Computadorizado / Máquinas de Controle Numérico
CNDI	Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CPEs	Centros de Pesquisa em Engenharia
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
EUA	Estados Unidos da América
FAPs	Fundações Estaduais de Amparo a Pesquisas
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FIP	Fundos de Investimento em Participações
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FR	França
Funtec	Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico
GER	Alemanha (Germany)
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBID	Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento
ICTs	Instituições de Ciência e Tecnologia
IGI	Índice Global de Inovação
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial

IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
LCDs	Letras de Crédito do Desenvolvimento
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
M2M	Comunicação máquina a máquina (<i>Machine to Machine</i>)
MCT / MCTI / MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (ou Comunicações)
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços
MEC	Ministério da Educação
MPEBTs	Micro e Pequenas Empresas de Base Tecnológica
MPEs	Micro e Pequenas Empresas
MPMEs	Micro, Pequenas e Médias Empresas
MS	Ministério da Saúde
NIB	Nova Indústria Brasil
NSF	<i>National Science Foundation</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P+P	Plano Mais Produção
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento (Novo PAC)
PAPPE	Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas (como em PIPE-PAPPE)
PBDCT	Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
PBM	Plano Brasil Maior
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PEIs	Planos Estratégicos de Inovação
PI	Política Industrial
PIB	Produto Interno Bruto
PIM	Pesquisa Industrial Mensal / Polo Industrial de Manaus
PINTEC	Pesquisa de Inovação
PIPE	Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas
PITCE	Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior
PPGDSCI	Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação Internacional

PPI	Programa de Parcerias de Investimentos
PROFIX	Programa de Fixação de Recursos Humanos de Alto Nível
ROB	Receita Operacional Bruta
S.A.	Sociedades Anônimas
SBIR	<i>Small Business Innovation Research</i>
SCN	Sistema de Contas Nacionais
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SNI	Sistema Nacional de Inovação
STEM	Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>)
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TR	Taxa Referencial
TRL	Níveis de Maturidade Tecnológica (<i>Technology Readiness Level</i>)
UR	Unidades de Registro
WEF	Fórum Econômico Mundial (<i>World Economic Forum</i>)
WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual (<i>World Intellectual Property Organization</i>)
ZFM	Zona Franca de Manaus

RESUMO

A Quarta Revolução Industrial impõe desafios estruturais ao Brasil, exigindo a intervenção do Estado para mitigar riscos tecnológicos em cenários de desindustrialização precoce. Esta pesquisa analisa a dinâmica, o papel e os gargalos institucionais do financiamento público à Indústria 4.0, investigando como estas políticas atuam na mitigação de incertezas e quais barreiras limitam a consolidação das inovações no mercado. Metodologicamente, adotou-se uma abordagem mista com triangulação de dados, mapeando quantitativamente os programas Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) Tecnologias 4.0 (2020), Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) Inovação (2018–2024) e BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). A etapa qualitativa envolveu entrevistas com empreendedores de *deep techs* (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE)-Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)), contextualizadas pela Pesquisa de Inovação (PINTEC), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pelo Índice Global de Inovação (IGI). Os resultados demonstram uma complementaridade institucional: a FINEP assume o risco extremo via subvenção para inovação de fronteira, enquanto o BNDES fomenta a difusão e modernização fabril via crédito. Contudo, evidenciou-se severa concentração regional no Sul-Sudeste e a exclusão de empresas tradicionais de médio porte. Identificaram-se gargalos sistêmicos como a rigidez burocrática, a carência de "letramento em projetos", a ausência do Estado como primeiro comprador e a insegurança jurídica na proteção de patentes. Conclui-se que o Brasil inova na fase de bancada, mas falha na etapa seguinte: levar essa inovação ao mercado, o que explica o paradoxo entre elevados investimentos e baixos índices nacionais de inovação. A tese contribui ao propor que o Estado evolua de financiador da oferta para criador de mercados, sugerindo-se, para estudos futuros, a análise de falhas no "Vale da Morte" e a expansão geográfica da amostra.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Financiamento de Inovação; BNDES; FINEP; Política Industrial; Economia Institucional.

ABSTRACT

The Fourth Industrial Revolution imposes structural challenges on Brazil, requiring State intervention to mitigate technological risks amidst premature deindustrialization. This research analyzes the dynamics, roles, and institutional bottlenecks of public funding for Industry 4.0, investigating how these policies mitigate uncertainties and identifying the structural barriers that limit the consolidation of innovations in the market. A mixed-methods approach with data triangulation was adopted, quantitatively mapping the FINEP Technologies 4.0 (2020), BNDES Innovation (2018–2024), and BNDES Machines 4.0 (2019–2024) programs. The qualitative phase included interviews with deep-tech entrepreneurs (PIPE-FAPESP), contextualized by PINTEC (IBGE) and the Global Innovation Index (GII). Results demonstrate institutional complementarity: FINEP assumes extreme risk via grants for frontier innovation, while BNDES fosters diffusion and factory modernization through credit. However, findings reveal a severe regional concentration in the South-Southeast and the exclusion of traditional medium-sized enterprises. Systemic bottlenecks were identified, such as bureaucratic rigidity, a lack of "project literacy," the absence of the State as a first buyer, and legal insecurity regarding patent protection. It is concluded that Brazil innovates at the bench stage but fails within the commercial and adoption ecosystem, justifying the paradox between high investment and low national innovation rates. This thesis contributes by proposing that the State evolve from a supply-side funder to a market creator, suggesting future studies on "Valley of Death" failures and the geographical expansion of the sample.

Keywords: Industry 4.0; Innovation Funding; BNDES; FINEP; Industrial Policy; Institutional Economics.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1.1 A Quarta Revolução Industrial e o desafio da inovação produtiva	17
1.2 O Estado como financiador estratégico da inovação	17
1.3 O Brasil diante da Indústria 4.0: desindustrialização precoce e gargalos estruturais	19
1.4 Os programas públicos de fomento à I4.0 no Brasil (2017–2024)	20
1.5. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	21
1.6. PROBLEMA DE PESQUISA E PERGUNTA CENTRAL	22
1.7. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS.....	22
2. METODOLOGIA.....	24
2.1 ETAPA I — ANÁLISE QUANTITATIVA	24
2.1.1 Fontes de dados e seleção dos instrumentos analisados.....	24
2.1.2 FINEP — Finep Tecnologias 4.0 2020	25
2.1.3 BNDES — Máquinas 4.0 (2019-2024).....	27
2.1.4 BNDES — Inovação (2018–2024)	27
2.1.5 Classificação setorial: uso do Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e reconhecimento do viés.....	27
2.1.6 Correspondência com taxonomias de Indústria 4.0	28
2.1.7 Normalização temporal	29
2.1.8 Estatísticas utilizadas e procedimentos de análise	30
2.2 ETAPA II — ANÁLISE QUALITATIVA DAS ENTREVISTAS.....	31
2.2.1 Justificativa da abordagem qualitativa e posição epistemológica.....	31
2.2.2 Critérios de seleção dos entrevistados.....	31
2.2.3 Perfil dos Entrevistados.....	32
2.2.4 Instrumento de coleta: entrevista semiestruturada	33
2.2.5 Aspectos éticos das pesquisa.....	34
2.2.6 Análise de conteúdo (Bardin, 2011): as três fases	35
2.2.7 Indicadores de contexto macroeconômico: justificativa da escolha do IGI (WIPO) e da PINTEC (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).....	38
2.2.8 Limitações da análise qualitativa	40
2.3 USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA	41
CAPÍTULO 1 – INDÚSTRIA 4.0 E SEU IMPACTO NA INOVAÇÃO INDUSTRIAL.....	43

1.1 Tecnologias associadas à Indústria 4.0 (IoT, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva, Big Data).....	45
1.2 A Computação em Nuvem.....	48
1.3 A Inteligência Artificial	50
1.4 Outras tecnologias.....	51
CAPÍTULO 2 – O FINANCIAMENTO PÚBLICO COMO AGENTE POTENCIALIZADOR DA PESQUISA E INOVAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL	55
2.1 Os paradigmas de construção da ciência moderna ocidental, o Estado e a importância da P&D para a inovação	56
2.2 A ECONOMIA INSTITUCIONAL E O DESENVOLVIMENTO DA I4.0 NO BRASIL	62
2.2.1 As Instituições	64
2.3 O DESENVOLVIMENTISMO E O NOVO DESENVOLVIMENTISMO PARA O PROGRESSO TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL DA AMÉRICA LATINA	66
2.4 O Triângulo de Sábato e Botana	71
2.5 A Hélice Tríplice ou Tripla Hélice	74
2.6 Da Tripla à Sêxtupla Hélice	75
2.7 Sistema Nacional de Inovação	77
2.8 A Política de Ciência, Tecnologia e Inovação	78
2.9 A Política Industrial Tecnológica e Comércio Exterior (PITCE – 2004).....	82
2.10 INOVAÇÃO DE FRONTEIRA E A DIFUSÃO TECNOLÓGICA	86
CAPÍTULO 3 – As principais agências de fomento financiadoras DE TECNOLOGIA 4.0 no Brasil.....	89
3.1 FINEP	90
3.1.1 Principais Programas da Finep para Apoio à Indústria 4.0	92
3.2 BNDES	94
3.3 EMBRAPPI	96
3.4 ABDI.....	97
3.5 FAPESP	99
3.6 A política Nova Indústria Brasil e seus RESULTADOS INICIAIS.....	100
CAPÍTULO 4 – Mapeamento e Análise do Financiamento à Indústria 4.0 no Brasil... 104	
4.1 PANORAMA GERAL DOS PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO À I4.0	104
4.1.1 A Heterogeneidade dos Instrumentos: Subvenção vs. Crédito	104

4.1.2 Comparação Normalizada de Montantes e Eficiência Alocativa.....	106
4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS INOVAÇÕES E MAPEAMENTO TECNOLÓGICO	110
4.2.1 Linhas Temáticas e Áreas Tecnológicas da I4.0	110
4.3 ANÁLISE DISTRIBUTIVA E SETORIAL DOS PROGRAMAS.....	117
4.3.1 Montantes Investidos e Setores Industriais Contemplados	117
4.3.2 A Concentração Regional do Financiamento.....	126
4.3.3 O Perfil dos Beneficiários pelo Porte Empresarial.....	128
4.3.4 Os Investimentos Geraram Inovação? Conexão com a PINTEC 2023.....	132
4.3.5 Benchmarking de inovação: O Brasil no Cenário Mundial	135
4.4 SÍNTESE INTERPRETATIVA DOS RESULTADOS	138
CAPÍTULO 5 – AS ANÁLISES DAS ENTREVISTAS.....	140
5.1 APRESENTANDO OS ENTREVISTADOS (Contextualização)	140
5.2 A Análise Categorical do Impacto da FAPESP.....	141
5.2.1 Estado como financiador do risco irrecusável.....	143
5.2.2 O Choque Institucional: tempo do estado vs. tempo da inovação	145
5.2.3 Acesso como barreira civilizatória.....	148
5.2.4 A lacuna da demanda: o estado que financia mas não compra	151
5.2.5 Insegurança jurídico-institucional como desincentivo à inovação.....	154
5.3 RELACIONANDO AS ENTREVISTAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4	156
5.4 LIMITAÇÕES DA ANÁLISE	158
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	160
REFERÊNCIAS	163
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO-BASE PARA ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS	185
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)	185
SEÇÃO 1 — TRIAGEM INICIAL	186
SEÇÃO 2 — DADOS DO RESPONDENTE E DA ORGANIZAÇÃO	186
SEÇÃO 3 — INFORMAÇÕES SOBRE O FINANCIAMENTO OU SUBVENÇÃO	187
SEÇÃO 4 — TECNOLOGIAS IMPLEMENTADAS	188
SEÇÃO 5 — RESULTADOS OBSERVADOS	189
SEÇÃO 6 — AVALIAÇÃO FINAL.....	190

INTRODUÇÃO

1.1 A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O DESAFIO DA INOVAÇÃO PRODUTIVA

A Quarta Revolução Industrial, sistematizada por Schwab (2016) no Fórum Econômico Mundial, representa a fusão de tecnologias que apagam as fronteiras entre os domínios físico, digital e biológico. Diferentemente das revoluções anteriores, marcadas respectivamente pela mecanização a vapor, pela produção em massa e pela automação eletrônica, a Indústria 4.0 (I4.0) caracteriza-se pela integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data analytics, computação em nuvem, robótica avançada e manufatura aditiva em plataformas digitais interoperáveis (Schwab, 2016; Chang; Andreoni, 2021).

O impacto dessa transformação sobre os sistemas produtivos é estrutural e sem precedentes históricos recentes. De acordo com o Relatório Future of Jobs do Fórum Econômico Mundial (WEF, 2023), as tecnologias da I4.0 devem gerar 69 milhões de novos postos de trabalho até 2027, ao mesmo tempo que eliminam 83 milhões de funções tornadas obsoletas pela automação e digitalização. Para economias em desenvolvimento, essa velocidade de transformação impõe um desafio duplo: alcançar a fronteira tecnológica sem aprofundar as assimetrias estruturais preexistentes (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE, 2021; Zuniga et al., 2016).

O Índice Global de Inovação (IGI) de 2024, publicado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual com cobertura de 133 economias, posiciona o Brasil na 50ª colocação geral, resultado que expõe um paradoxo típico de economias de renda média: desempenho relativamente forte em capital humano e criatividade, porém severa penalização nos pilares de infraestrutura, ambiente regulatório e sofisticação do mercado (WIPO, 2024). Essa combinação, de capacidade científica acima da média para o nível de renda e tradução insuficiente em inovação industrial de fronteira, constitui o pano de fundo desta investigação.

1.2 O ESTADO COMO FINANCIADOR ESTRATÉGICO DA INOVAÇÃO

A centralidade do Estado no financiamento da inovação não é questão ideológica, mas histórico-empírica. Freeman e Soete (2008), ao analisarem os Sistemas Nacionais de Inovação das economias avançadas, identificam que todos os processos bem-sucedidos de catching-up tecnológico na história moderna, do Japão do pós-guerra à Coreia dos anos 1980, envolveram

protagonismo estatal deliberado na definição de prioridades, provisão de financiamento paciente de longo prazo e absorção do risco tecnológico que o setor privado, isoladamente, não estaria disposto a assumir.

Perez (2002) oferece um arcabouço analítico que permite situar historicamente essa centralidade estatal. A autora identifica cinco revoluções tecnológicas desde o século XVIII, cada qual fundada em um novo paradigma tecno-econômico que redefine as fronteiras da produção, dos mercados e das instituições. O quinto paradigma, baseado em tecnologias de informação e comunicação, originou-se nos anos 1970 e estrutura a lógica competitiva vigente, conferindo às políticas de financiamento um papel central na aceleração da fase de implantação (Perez, 2002).

Perez (2002) distingue, dentro de cada paradigma, uma fase de instalação, dominada pelo capital financeiro especulativo, e uma fase de implantação, em que o capital produtivo extrai o pleno potencial da tecnologia. A Indústria 4.0 pode ser lida como expressão da fase de implantação do quinto paradigma: sistemas ciber-físicos, internet das coisas e inteligência artificial difundem-se pela estrutura produtiva (Schwab, 2016). Programas como os do BNDES e da FINEP constituem, nessa perspectiva, instrumentos de política industrial para acelerar essa difusão no tecido produtivo nacional.

Mazzucato e Perez (2015) sistematizam esse argumento na teoria do Estado Empreendedor: o Estado não é apenas corretor de falhas de mercado, mas investidor de primeira instância em tecnologias de alto risco e longa maturação, em especial aquelas que formam as trajetórias tecnológicas sobre as quais toda uma geração de inovações privadas subsequentes se apoiará. Não basta, portanto, que o Estado invista: é necessário que o faça de forma qualificada, mobilizando a oportunidade da inovação em lugar de simplesmente injetar recursos em setores sem dinamismo tecnológico (Mazzucato; Perez, 2015).

A dimensão institucional é igualmente decisiva. North (1990) demonstra que as regras do jogo, formais e informais, que estruturam a interação entre agentes econômicos determinam os incentivos ao investimento em inovação. Em contextos de alta incerteza regulatória, burocracia excessiva e direitos de propriedade intelectual inseguros, mesmo o financiamento público abundante pode resultar em baixa eficácia transformadora (North, 1990; Hall; Lerner, 2010). A perspectiva neo-desenvolvimentista (Bresser-Pereira, 2006) articula, no contexto latino-americano, essa necessidade de políticas industriais ativas com a disciplina institucional e a inserção competitiva na economia global, papel que na Quarta Revolução Industrial implica necessariamente o financiamento público da adoção e da geração das tecnologias habilitadoras da I4.0.

Os paradigmas de construção do conhecimento científico também informam essa dinâmica. O modelo linear de Bush (1945), segundo o qual a ciência básica gera ciência aplicada, cedeu espaço ao Quadrante de Pasteur de Stokes (2005): a ciência estratégica que combina rigor básico com aplicação imediata. No Brasil, o modelo de Sábato e Botana (1968) segue como referencial analítico central, com o Estado como principal condutor das políticas de C&T e as universidades como locus de produção do conhecimento, embora a transferência desse conhecimento para a produção industrial ainda seja insuficiente e irregular (Freeman; Soete, 2008).

1.3 O BRASIL DIANTE DA INDÚSTRIA 4.0: DESINDUSTRIALIZAÇÃO PRECOCE E GARGALOS ESTRUTURAIS

O Brasil conduziu seu processo de industrialização tardia entre as décadas de 1930 e 1970, ancorado no paradigma produtivo da Segunda Revolução Industrial: petroquímica, siderurgia e bens de capital pesado (Cano, 2012; Feijó, 2023; IBGE/SCN, 2023). A participação da indústria de transformação no Produto Interno Bruto (PIB) recuou de aproximadamente 35% em 1985 para cerca de 11,3% em 2023 (IBGE/SCN), processo que Rodrik (2016) identifica como desindustrialização precoce: retração do setor industrial em patamares de renda per capita muito inferiores aos verificados nas economias que completaram sua industrialização nos séculos XIX e XX.

Esse encolhimento ocorreu sem que o Brasil houvesse completado sua transição tecnológica para os padrões da Terceira Revolução Industrial (automação, eletrônica e microprocessadores), criando uma lacuna estrutural que torna ainda mais desafiador o salto para a Quarta Revolução Industrial. Chang e Andreoni (2021) identificam esse fenômeno como a armadilha de renda média produtiva: economias que perdem densidade industrial antes de acumular capacidade tecnológica autônoma ficam presas em trajetórias de baixo dinamismo e alta dependência de commodities.

No plano do investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), o Brasil destina aproximadamente 1,2% do PIB a pesquisa e desenvolvimento, valor significativamente inferior à média dos países-membros da OCDE (2,7% do PIB em 2022) e muito distante de economias de referência como Coreia do Sul (4,9%), Israel (5,4%) e Estados Unidos (3,5%) (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações – MCTI, 2023; OCDE, 2023). Embora o investimento público em ciência e tecnologia tenha crescido nas décadas de 2000 e 2010, a maior parte concentra-se em ciência básica e universidades federais, com tradução insuficiente em P&D

industrial aplicado e em inovação de produto ou processo efetivamente implementada no mercado (Salerno; Kubota, 2008; Rauen, 2019).

A Pesquisa de Inovação (Pintec/ibge, 2024) registra uma trajetória preocupante: a taxa de inovação das empresas industriais brasileiras recuou de 70,5% na edição de 2021 para 64,6% na edição de 2023, mesmo em contexto de expansão dos desembolsos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para inovação. Esse paradoxo, no qual mais recursos públicos disponíveis coexistem com menor taxa de inovação registrada, sinaliza que o problema não é apenas de volume de financiamento, mas de adequação dos instrumentos às necessidades concretas das empresas e às barreiras estruturais que separam o estágio de P&D da implementação de mercado (Salerno; Kubota, 2008; Rauen, 2019).

1.4 OS PROGRAMAS PÚBLICOS DE FOMENTO À I4.0 NO BRASIL (2017–2024)

A resposta institucional brasileira ao desafio da Indústria 4.0 ganhou expressão a partir de 2017, com o Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para a Manufatura Avançada (Mdic/mctic, 2017) e os mapeamentos da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2016) e da ProFuturo/CNI (2019), que identificaram as tecnologias habilitadoras prioritárias e as lacunas de financiamento existentes. Na sequência, foram criados os principais instrumentos específicos: o BNDES Máquinas 4.0 (2018), o FINEP InovaCred 4.0 (2019), o BNDES Serviços 4.0 e o Agro 4.0 (ABDI/MDIC).

A Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2022), em pesquisa com empresas do setor industrial, identificou que em 2016 a ausência de linhas de financiamento específicas para I4.0 ocupava o segundo lugar entre as principais barreiras à adoção tecnológica. Após a criação dessas linhas, o mesmo item recuou para a quarta posição, evidência do impacto positivo da intervenção estatal na remoção de uma barreira estrutural específica. Contudo, 66% das empresas industriais ainda citam o alto custo como principal obstáculo interno à inovação tecnológica, e barreiras burocráticas, de prazo de desembolso e de escala mínima continuam impactando especialmente as empresas de menor porte (CNI, 2022).

Mais recentemente, o governo federal lançou a Nova Indústria Brasil (NIB, 2023), política industrial estruturante que define seis missões tecnológicas: saúde, agropecuária, bioeconomia, defesa e segurança, infraestrutura e transformação digital, prevendo a mobilização de R\$ 300 bilhões em financiamento público até 2026, com o BNDES como principal agente operador e a FINEP como agência de fomento científico-tecnológico

(BRASIL, 2024d). A I4.0 atravessa transversalmente todas as missões da NIB, tornando ainda mais urgente avaliar criticamente a efetividade dos instrumentos de fomento já existentes.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) complementa esse ecossistema com o Programa PIPE (Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas), instrumento de subvenção não reembolsável voltado exclusivamente a micro e pequenas empresas de base tecnológica (MPEBTs), com histórico desde 1997. Reconhecido como um dos programas de fomento à inovação empresarial mais bem estruturados da América Latina (FAPESP, 2024), o PIPE constitui fonte privilegiada para compreender, em profundidade, a experiência concreta das empresas no ecossistema brasileiro de inovação.

1.5. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A justificativa desta pesquisa assenta-se em três ordens de argumentação complementares. Do ponto de vista empírico, o Brasil destinou recursos crescentes ao fomento público à inovação tecnológica na última década, com destaque para os programas específicos de I4.0 criados entre 2018 e 2019. Contudo, não encontramos, na literatura brasileira de avaliação de políticas de inovação, um estudo que analise sistematicamente, com abordagem misto-metodológica, a distribuição espacial, setorial e por porte dos principais programas federais de fomento à I4.0: FINEP Inova Mais 2020 e BNDES (Máquinas 4.0 e Inovação), triangulando esses dados com a experiência qualitativa de beneficiários de programas estaduais (FAPESP PIPE) e avaliando a adequação do ecossistema de financiamento à superação das barreiras estruturais à inovação industrial.

Do ponto de vista metodológico, a maioria das avaliações disponíveis adota abordagem exclusivamente quantitativa, baseada em dados administrativos de programas, ou exclusivamente qualitativa, mediante entrevistas com gestores ou beneficiários. A combinação sistemática de análise de bases de dados de programas federais (FINEP, BNDES), análise de conteúdo de entrevistas semiestruturadas (FAPESP PIPE) representa uma contribuição metodológica que permite triangular o que os dados agregados revelam e o que a experiência concreta das empresas demonstra (Creswell; Plano Clark, 2017).

Do ponto de vista teórico, a literatura sobre Estado Empreendedor (Mazzucato, 2014), economia institucional (North, 1990) e Sistemas Nacionais de Inovação (Freeman; Soete, 2008) fornece enquadramento robusto para analisar o papel do Estado no financiamento da inovação, mas a aplicação desses frameworks ao contexto específico do fomento à I4.0 no Brasil, com suas singularidades institucionais, assimetrias regionais e histórico de desindustrialização

precoce, permanece insuficientemente desenvolvida. Esta tese busca contribuir para essa articulação, posicionando os dados empíricos brasileiros em diálogo com a literatura internacional de avaliação de políticas de inovação.

1.6. PROBLEMA DE PESQUISA E PERGUNTA CENTRAL

O problema central desta investigação pode ser enunciado nos seguintes termos: em que medida os programas públicos de fomento à Indústria 4.0 no Brasil têm sido capazes de mitigar o risco tecnológico inicial, ampliar o acesso ao financiamento de inovação de fronteira e superar as barreiras estruturais que impedem a consolidação das inovações no mercado, considerando a distribuição assimétrica desses recursos por setor, porte empresarial e região?

A pergunta central que orienta a pesquisa é: qual é o papel estrutural do financiamento público no ecossistema de fomento à Indústria 4.0 no Brasil, quais são seus gargalos institucionais e como os beneficiários dos programas percebem seu impacto na superação do risco tecnológico e na consolidação de inovações no mercado?

1.7. OBJETIVOS GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo geral da pesquisa é analisar a dinâmica, o papel e os gargalos institucionais do ecossistema de financiamento público à Indústria 4.0 no Brasil, compreendendo, sob uma ótica quanti-qualitativa, como estas políticas atuam na mitigação do risco tecnológico e quais barreiras estruturais limitam a consolidação dessas inovações no mercado.

Os objetivos específicos foram organizados em sequência analítica: parte-se da identificação dos atores institucionais (OE1), avança-se para o mapeamento de sua configuração e distribuição (OE2), contextualiza-se o fomento frente aos indicadores nacionais e internacionais de inovação (OE3), detalha-se o perfil setorial de cada instrumento (OE4) e, por fim, examina-se a perspectiva das empresas beneficiárias sobre o impacto e os entraves do sistema (OE5):

1. Identificar e caracterizar os principais financiadores públicos de indústria 4.0 no Brasil;
2. Mapear a configuração do arranjo institucional de fomento à Indústria 4.0 (FINEP e BNDES) e analisar a sua distribuição espacial, setorial e por porte de empresa;

3. Contextualizar o fomento público para inovação na Indústria 4.0 em comparação com a taxa efetiva de inovação da indústria (Pesquisa de Inovação (PINTEC)) e com o cenário global por meio de *benchmarking* internacional (Índice Global de Inovação).
4. Identificar as linhas temáticas e os setores industriais contemplados pelos financiamentos, compreendendo a vocação de cada instrumento (crédito vs. subvenção) no apoio à inovação de fronteira e na difusão tecnológica.
5. Compreender, a partir da experiência qualitativa das empresas beneficiárias da FAPESP, o papel do fomento público na superação do risco tecnológico inicial e os entraves operacionais.

2. METODOLOGIA

A abordagem adotada combina técnicas quantitativas e qualitativas para coletar, organizar e analisar os dados de forma sistemática, garantindo a validade e confiabilidade dos resultados. A pesquisa quantitativa será utilizada para mensurar padrões, frequências e relações estatísticas entre as variáveis analisadas (Gil, 2019), enquanto a pesquisa qualitativa permitirá contextualizar esses achados, analisando a relação entre publicações científicas, financiamento público e o desenvolvimento da Indústria 4.0 a partir da revisão da literatura e discussão crítica com artigos acadêmicos (Yin, 2015).

A triangulação metodológica justifica-se pela necessidade de complementar dados objetivos e interpretações contextuais (Flick, 2008): os dados quantitativos fornecem o contexto estrutural (quem acessa, em qual montante, em qual setor, em qual região), enquanto as entrevistas revelam as razões, os obstáculos e as trajetórias que os dados agregados não capturam. Afinal, segundo Cavalcante (2019), a inovação nas políticas públicas deve ser analisada considerando sua implementação e os resultados concretos.

2.1 ETAPA I — ANÁLISE QUANTITATIVA

2.1.1 Fontes de dados e seleção dos instrumentos analisados

A análise quantitativa baseia-se em três conjuntos de dados secundários, obtidos diretamente dos portais de transparência e plataformas de acesso público das agências de fomento:

- (i) FINEP — Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação – 04/2020 - Tecnologias 4.0 (Financiadora de Estudos e Projetos) (Finep, 2020);
 - (ii) BNDES — BK aquisição e comercialização – Máquinas 4.0, 2019-2024 (BNDES, 2025a);
 - (ii) BNDES — Programa BNDES Mais Inovação, 2018–2024.

O acesso aos dados da FINEP foi realizado por meio do site institucional da agência, na seção “Chamadas Públicas”. Utilizou-se o mecanismo de busca avançada disponível na lateral da página, aplicando-se a palavra-chave “4.0”. Nos filtros de “temas”, foram selecionadas as categorias Inteligência Artificial, Internet das Coisas (IoT) e Manufatura Avançada, de modo a identificar chamadas relacionadas às tecnologias da Indústria 4.0. Adicionalmente, foram incluídos os temas “Papel e Celulose”, “Petróleo, gás e etanol” e

“Química”, com o objetivo de restringir a busca a iniciativas vinculadas ao setor industrial. O público-alvo selecionado foi “Empresas e Startups”. Entre os resultados obtidos, o programa “Tecnologias 4.0” foi escolhido por apresentar aderência direta ao objeto da pesquisa e por tratar explicitamente de tecnologias associadas à Indústria 4.0. Também foi aplicado um filtro temporal a partir de 2020, a fim de evitar a inclusão de chamadas mais antigas.

Os dados referentes aos programas do BNDES foram obtidos na plataforma “Estatísticas Operacionais do Sistema BNDES” (BNDES, 2025a). Na página de consulta, selecionou-se o produto “BNDES Finame”. A partir das planilhas disponibilizadas em formato Excel, foram considerados apenas os registros em que a coluna “Inovação” estava marcada como “Sim”. Dentro desse conjunto, foram selecionados dois programas específicos: “Programa BNDES Mais Inovação” e “BK Aquisição e Comercialização – Máquinas 4.0”. Esses programas foram escolhidos por apresentarem aderência temática à agenda de inovação industrial e por possuírem cobertura temporal compatível com o período analisado na pesquisa, além de bases de dados com mais de uma centena de observações cada.

A seleção desses três instrumentos responde aos critérios:

a) Relevância temática: os três programas têm adesão direta ou indireta à agenda de inovação tecnológica e Indústria 4.0 no Brasil.

b) Disponibilidade e granularidade dos dados: as bases dispõem de informações por operação (empresa, setor, porte, região, valor), permitindo análise desagregada.

c) Complementaridade institucional: os programas representam distintos instrumentos de política, subvenção econômica (FINEP), crédito subsidiado (BNDES Máquinas 4.0) e financiamento a projetos de inovação (BNDES Inovação), o que enriquece a análise comparativa do ecossistema de fomento brasileiro.

O FAPESP PIPE, analisado no Capítulo 5 por meio de entrevistas qualitativas, não integra a análise quantitativa do Capítulo 4 pela indisponibilidade de dados públicos no mesmo nível de desagregação dos programas federais.

2.1.2 FINEP — Finep Tecnologias 4.0 2020

A “Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT - Subvenção Econômica à Inovação – 04/2020 - Tecnologias 4.0” é um instrumento da FINEP de subvenção econômica não reembolsável destinado ao apoio a empresas inovadoras, com edital publicado em 2020 (Finep, 2020). A base de dados utilizada contém 144 projetos contratados, constituindo o corpus integral do programa para o ano analisado.

2.1.2.1 Limitações da base de dados da Finep 2020

A planilha original disponibilizada pela FINEP não continha informação de tipologia ou classificação setorial dos projetos no nível de operação individual. Assim, a desagregação dos 144 projetos FINEP por subcategoria de I4.0 NÃO é apresentada nos resultados desta tese. Toda a análise estatística do Finep Tecnologias 4.0 2020 é realizada sobre o conjunto integral dos 144 projetos, sem desagregação por linha temática ou tipologia de I4.0.

Ainda, a base de dados individual de projetos do Finep Tecnologias 4.0 2020 também não registra a qual Linha Temática cada contrato pertence. A distribuição por Linha Temática disponível é extraída exclusivamente da tabela de síntese incluída na própria planilha da FINEP, não sendo possível rastreá-la ao nível do projeto individual (Agro 4.0; Cidades Inteligentes; Indústria 4.0 e Saúde 4.0).

Isso impede a realização de análises cruzadas como, por exemplo, verificar a distribuição regional ou o valor médio operacional especificamente para projetos vinculados à Linha Temática de Indústria 4.0. Toda a análise estatística dos 144 projetos é, portanto, realizada sobre o conjunto integral, sem desagregação por linha temática.

Reconhece-se que essa limitação reduz a capacidade analítica em relação ao Finep Tecnologias 4.0 2020, pois impede verificar se os projetos de I4.0 apresentam perfil de porte, valor ou distribuição regional distinto dos demais projetos do programa. Essa é uma limitação da fonte primária, não do procedimento analítico adotado.

2.1.2.2 Singularidade temporal do Finep Tecnologias 4.0/2020

O Finep Tecnologias 4.0 2020 constitui um programa de edital único, cujos contratos foram firmados em um único ano-base (2020). Isso o diferencia estruturalmente dos programas BNDES, que acumulam séries históricas de desembolsos ao longo de sete anos (BNDES Inovação, 2018–2024) e seis anos (BNDES Máquinas 4.0), respectivamente.

Essa singularidade temporal é decisiva para toda a análise subsequente, pois inviabiliza a comparação direta de volumes absolutos entre o Finep Tecnologias 4.0 2020 e os programas BNDES. A análise do FINEP prioriza, portanto, o perfil interno do programa (distribuição por porte, setor, região e valor médio por operação) em detrimento de comparações de volume absoluto com os demais instrumentos. Quando comparações são inevitáveis, recorre-se à normalização temporal que será detalhada mais adiante.

2.1.3 BNDES — Máquinas 4.0 (2019-2024)

O BNDES Máquinas 4.0 (2019-2024) é um programa de crédito subsidiado para aquisição de máquinas e equipamentos digitais e conectados, voltado à modernização do parque produtivo industrial brasileiro em linha com os princípios da I4.0. Os dados utilizados cobrem o período de vigência do programa até o corte analítico adotado nesta investigação.

A análise quantitativa do Máquinas 4.0 abrange as seguintes dimensões: distribuição por porte empresarial, distribuição setorial, distribuição regional por unidade federativa, e valor médio por operação (VM/Op.) como indicador de eficiência alocativa.

2.1.4 BNDES — Inovação (2018–2024)

O BNDES Inovação é o principal instrumento de financiamento direto à inovação do Banco, destinado a projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em empresas de todos os portes. A cobertura temporal da base utilizada vai de 2018 a 2024 (7 anos), o que confere maior robustez estatística em relação aos demais instrumentos analisados, mas impõe cautela nas comparações de volume que não levem em conta o diferencial de anos de acumulação.

A vinculação analítica do BNDES Inovação com a agenda da Indústria 4.0 foi operacionalizada nesta investigação por meio do foco estrito na categoria "Indústria de Transformação" dentro da classificação setorial do programa. Essa opção decorre do reconhecimento de que o BNDES Inovação é um programa amplo (não exclusivo de I4.0), mas cujos projetos de transformação digital e automação industrial se concentram no setor de transformação. Setores como Petróleo e Gás e Software e TI, presentes na base com volumes expressivos, são analisados, mas com a devida ressalva de que nem todo projeto desses setores corresponde a uma iniciativa de I4.0 stricto sensu.

2.1.5 Classificação setorial: uso do Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e reconhecimento do viés

A variável setorial adotada para os três instrumentos quantitativos é o setor CNAE (Classificação Nacional de Atividades Econômicas), na versão agrupada disponível em cada base. Essa escolha decorre de critério pragmático explícito: o CNAE foi o único código setorial

presente nos três instrumentos analisados (FINEP, BNDES Máquinas 4.0 e BNDES Inovação), tornando-o o denominador comum que permite comparações trans-programas.

O uso do CNAE como classificador setorial introduz um viés por classificar as empresas pela sua atividade econômica principal, e não pela natureza da inovação que está sendo financiada. Isso significa que:

- Uma empresa do setor agroindustrial (CNAE agropecuária ou indústria de alimentos) que recebe financiamento para implementação de rastreabilidade por Internet das Coisas será classificada no setor primário ou alimentício, e não no setor de tecnologia ou de I4.0.
- Uma empresa de serviços logísticos que desenvolve um sistema de roteirização inteligente será registrada no setor de transporte, e não no de software.

Consequentemente, a análise setorial por CNAE pode subestimar a participação de setores de alta intensidade tecnológica e superestimar a participação de setores tradicionais. Essa limitação foi considerada na interpretação dos resultados.

2.1.6 Correspondência com taxonomias de Indústria 4.0

Para fins de vinculação analítica entre os subsetores industriais presentes nas bases de dados (Subsetor BNDES e Subsetor CNAE agrupado) e as tecnologias habilitadoras da I4.0, o procedimento metodológico adotado consistiu na correspondência sistemática entre essas categorias e as taxonomias das seguintes fontes de referência:

- ProFuturo (2019): Roadmap tecnológico de manufatura avançada e I4.0
- MDIC/MCTIC (2017): Plano de CTI para a Manufatura Avançada no Brasil
- ABDI (2016): Relatório de mapeamento da cadeia de I4.0 no Brasil

As categorias resultantes dessa correspondência, utilizadas na análise de perfil setorial do BNDES Máquinas 4.0 e do BNDES Inovação, são:

1. Robótica e Automação Industrial
2. Manufatura Avançada (incluindo manufatura aditiva e Controle Numérico Computadorizado (CNC) de precisão)
3. Processos Inteligentes — Química e Energia
4. Sistemas Inteligentes de Transporte e Logística
5. IoT Agroindustrial e Rastreabilidade

6. Manutenção Preditiva e Internet das Coisas (IoT) Industrial

Essa correspondência foi construída pelo pesquisador a partir da leitura dos objetos dos contratos e da classificação CNAE, e constitui, portanto, uma operacionalização analítica, não uma classificação oficial das agências. A transparência sobre esse procedimento é condição de validade da análise (Mayring, 2014).

2.1.7 Normalização temporal

Como apresentado, os três instrumentos analisados possuem durações radicalmente distintas: o FINEP Finep Tecnologias 4.0 2020 apresenta apenas um ano de contratos (edital único, 2020); o BNDES Máquinas 4.0 é 2019 a 2024 e o BNDES Inovação vai de 2018–2024. Essa assimetria temporal inviabiliza comparações de volume absoluto entre os programas. Comparar os totais brutos seria metodologicamente equivalente a comparar o faturamento anual de uma empresa com seu faturamento acumulado em sete anos: a diferença refletiria a janela temporal, não o desempenho relativo.

Para viabilizar comparações de ritmo de alocação entre os programas, adota-se a normalização por ano de vigência: o valor total desembolsado ou o número total de operações de cada programa é dividido pelo número de anos cobertos pela base de dados disponível (Rossi, Lipsey & Freeman, 2004). O resultado obtido, seja o valor médio anual ou o número médio de operações por ano, permite comparar a intensidade de alocação de cada instrumento independentemente de sua janela temporal.

A fórmula aplicada é:

$$\text{Valor médio anual} = \text{Valor ou Volume total} / \text{Número de anos de vigência}$$

Onde o número de anos de vigência corresponde ao período coberto pela base de dados efetivamente utilizada, e não necessariamente ao período total de validade institucional do programa (Rossi, Lipsey & Freeman, 2004).

No caso do Finep Tecnologias 4.0 2020, seu denominador temporal é igual a 1 (um único ano), o que significa que seus valores absolutos já representam, diretamente, a magnitude de um único exercício.

2.1.8 Estatísticas utilizadas e procedimentos de análise

As análises quantitativas foram integralmente realizadas em Python (versão 3.x), linguagem de programação de código aberto amplamente adotada em pesquisas de ciências sociais computacionais e avaliação de políticas públicas (Salganik, 2018; Grimmer, Roberts & Stewart, 2022). A escolha por Python, em detrimento de software proprietário ou planilhas eletrônicas, é motivada por três razões metodológicas explícitas:

(i) Reprodutibilidade: todos os procedimentos de limpeza, transformação e análise dos dados estão documentados em scripts que podem ser reexecutados por qualquer pesquisador com acesso às bases originais, garantindo transparência e verificabilidade dos resultados (Wilson et al., 2017; Stodden, Seiler & Ma, 2018).

(ii) Rastreabilidade das decisões: cada passo de tratamento dos dados, fusão de bases, agrupamento de categorias, cálculo de indicadores, é explicitado no código-fonte, tornando auditáveis as decisões analíticas.

(iii) Escalabilidade: a mesma estrutura de código processa os três programas analisados com consistência, reduzindo o risco de erros por replicação manual.

As bibliotecas utilizadas e suas funções específicas nesta pesquisa são:

- pandas (McKinney, 2010): manipulação, filtragem, agrupamento e mesclagem
- das bases de dados dos três programas; cálculo de estatísticas descritivas
- por subgrupos (porte, setor, região).
- matplotlib (Hunter, 2007) e seaborn (Waskom, 2021): geração de
- visualizações (gráficos de barras, mapas de calor e distribuições) utilizadas nas figuras dos capítulos analíticos.
- openpyxl: exportação das tabelas analíticas para formato .xlsx com
- formatação padronizada, garantindo legibilidade e arquivamento dos
- resultados intermediários.
- scipy (Virtanen et al., 2020): cálculos complementares de estatística

Não foram aplicados modelos de inferência causal (econometria, diferença em diferenças, *propensity score matching*) em razão das limitações das bases de dados disponíveis: ausência de grupos de controle, impossibilidade de rastrear trajetória individual das empresas ao longo do tempo e indisponibilidade de indicadores de resultado (patentes registradas,

faturamento pós-projeto, empregos gerados) vinculados aos contratos. A análise é, portanto, exclusivamente descritiva e analítica no nível agregado.

2.2 ETAPA II — ANÁLISE QUALITATIVA DAS ENTREVISTAS

2.2.1 Justificativa da abordagem qualitativa e posição epistemológica

A análise qualitativa responde à insuficiência estrutural da análise quantitativa para capturar mecanismos causais, experiências subjetivas e percepções dos agentes. Os dados agregados do Capítulo 4 respondem ao "o quê" e ao "quanto" do fomento público, mas não ao "como", "por quê" e "com que efeitos" percebidos pelos beneficiários. As entrevistas semiestruturadas preenchem essa lacuna ao dar voz às empresas que acessaram os programas, permitindo compreender tanto os efeitos positivos quanto as barreiras sistêmicas que os dados quantitativos não conseguem revelar.

A posição epistemológica adotada é interpretativista (Creswell, 2014): reconhece-se que a realidade dos beneficiários é socialmente construída e que os relatos dos entrevistados constituem dados legítimos para a análise científica, desde que submetidos a procedimento metodológico rigoroso de codificação, categorização e verificação de convergência entre informantes.

2.2.2 Critérios de seleção dos entrevistados

Os participantes foram selecionados por amostragem intencional, modalidade adequada a estudos qualitativos com objetivos explanatórios e corpus reduzido (Patton, 2002). Os critérios de inclusão foram:

- (i) Ser proprietário ou gestor sênior de empresa beneficiária do FAPESP PIPE, com ao menos uma experiência completa de execução e prestação de contas de projeto aprovado.
- (ii) Ter experiência de mais de um ciclo de fomento (PIPE 2 ou superior), o que assegura vivência prolongada com o sistema de gestão e accountability dos programas.
- (iii) Atuar em setor com afinidade com a agenda de inovação tecnológica e Indústria 4.0 (Internet das Coisas, plataformas digitais, economia circular, tecnologias limpas).
- (iv) Disponibilidade para entrevista gravada com consentimento de uso acadêmico anonimizado.

Não foram adotados critérios de variação por porte ou faturamento na seleção, pois o FAPESP PIPE é destinado exclusivamente a micro e pequenas empresas de base tecnológica (MPEBTs), o que torna os entrevistados homogêneos nessa dimensão por definição institucional do programa.

2.2.3 Perfil dos Entrevistados

A partir disso, segue o perfil dos entrevistados:

Entrevistado F.B. (anonimizado):

- Fundador e gestor de microempresa de Internet das Coisas e Economia Circular de Resíduos, localizada em Cotia (SP)
- Setor de atuação: IoT e Economia Circular de Resíduos (Indústria de Transformação)
- Formação: Análise de Sistemas (IPEN/USP); pós-doutorado em mineração de aterro
- Experiência com fomento: FAPESP PIPE 2 (2009), PIPE 3 (2018/2019),
- BNDES Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (Funtec) — totalizando mais de uma década de gestão de projetos públicos
- Entrevista realizada com 57 minutos de duração

Entrevistado R.O. (anonimizado):

- Empreendedor serial com 25 anos de atuação no mercado, fundador de empresa de plataforma digital em mercado regulado, localizada em São Paulo (SP)
- Formação: não informada
- Experiência com fomento: FAPESP PIPE 2 (2010), PIPE 3 e mais 2 PIPE subsequentes — totalizando 5 verbas do PIPE ao longo de sua trajetória
- Entrevista realizada com 66 minutos de duração
- Localização: São Paulo (SP)
- Setor de atuação: Plataformas digitais em mercado regulado

F.B. representa o "insider técnico" que acessou o sistema e navegou suas restrições internas; R.O. representa o "observador sistêmico" com perspectiva ampliada sobre barreiras

de acesso e dinâmicas do ecossistema. Essa diversidade de perspectivas enriquece o corpus e favorece a emergência de categorias que cobrem dimensões distintas do fenômeno.

2.2.4 Instrumento de coleta: entrevista semiestruturada

O instrumento de coleta adotado foi entrevista semiestruturada baseada em roteiro padronizado (Apêndice A), com 23 questões organizadas em seis blocos temáticos, combinando perguntas abertas e itens em escala Likert para captura dos resultados percebidos nos Blocos 5 e 6 (Flick, 2008; Kvale; Brinkmann, 2009). A escolha por entrevistas individuais (e não grupos focais) decorre do caráter confidencial de parte das informações prestadas e da necessidade de capturar trajetórias específicas de cada empreendedor.

O instrumento é composto por 23 perguntas, organizadas em seis blocos sequenciais [ATENÇÃO (Avaliador, pág. 32): Este parágrafo descreve o QUESTIONÁRIO ON-LINE (instrumento quantitativo: Bloco 0 a Bloco N, perguntas numeradas, triagem inicial), e não o roteiro de entrevista semiestruturada utilizado na etapa qualitativa. O avaliador apontou que o instrumento descrito aqui não corresponde ao que foi efetivamente aplicado nas entrevistas com F.B. e R.O. Ação necessária: substituir este parágrafo pela descrição do roteiro de entrevista semiestruturado real (constante no Apêndice A), indicando os eixos temáticos, a abertura para temas emergentes e o referencial metodológico (ex.: Kvale & Brinkmann, 2009). O questionário on-line deve ser descrito em seção própria da etapa quantitativa.] (Apêndice A).

O Bloco 0 corresponde ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e ao registro de consentimento, abrangendo as Perguntas 1 e 2. Nesse trecho, são apresentados os objetivos da pesquisa, os riscos, os benefícios e os direitos do respondente, enquanto a segunda pergunta registra o consentimento digital em conformidade com a Resolução Conselho Nacional de Saúde (CNS) nº 510/2016. O Bloco 1 corresponde à triagem inicial e contém a Pergunta 3, formulada como questão-filtro para identificar se o respondente acessou apoio público para iniciativas de Indústria 4.0. Apenas os respondentes que confirmam esse acesso prosseguem para os blocos voltados à experiência com o financiamento e aos resultados percebidos.

O Bloco 2 reúne as Perguntas 4 a 8 e tem por finalidade caracterizar o perfil sociodemográfico e organizacional dos participantes. Nesse conjunto, investigam-se o papel exercido pelo respondente à época do projeto, a faixa etária, a formação acadêmica, o porte da empresa no momento do apoio e a região da sede principal do projeto. Na sequência, o Bloco 3, formado pelas Perguntas 9 a 13, concentra informações sobre o financiamento ou a

subvenção recebida. São abordados os programas utilizados, o tipo de apoio recebido, o ano do primeiro acesso, as categorias tecnológicas contempladas e as principais barreiras encontradas na implementação.

O Bloco 4 corresponde à mensuração dos resultados percebidos e abrange as Perguntas 14 a 21, estruturadas em escala Likert de concordância. Essas questões avaliam a percepção dos respondentes sobre os efeitos do apoio público em dimensões como aceleração do projeto, ampliação do escopo tecnológico, ganhos operacionais, desenvolvimento de produtos ou serviços, registro de propriedade intelectual, desenvolvimento de competências internas e resultados ligados à rastreabilidade, ao monitoramento ou à modernização industrial. Por fim, o Bloco 5, composto pelas Perguntas 22 e 23, trata da avaliação final do instrumento, abordando a intenção de solicitar apoio novamente e as melhorias recomendadas para os instrumentos de fomento.

As entrevistas foram realizadas de forma remota, com consentimento gravado dos participantes. A gravação ocorreu por meio de plataforma de videoconferência com recurso de transcrição automática (Tactiq). Para garantir a fidelidade do material empírico e reduzir possíveis distorções da transcrição automática, foi adotado um procedimento de verificação em duas etapas.

2.2.5 Aspectos éticos da pesquisa

Os participantes foram informados previamente sobre os objetivos da pesquisa, os procedimentos de anonimização e os usos acadêmicos dos dados coletados. O compromisso com a confidencialidade foi formalizado em conformidade com os princípios da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD, Lei nº 13.709/2018) e com as diretrizes éticas para pesquisas em ciências humanas e sociais estabelecidas pela Resolução CNS nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde. A participação ocorreu mediante concordância expressa dos entrevistados, registrada por meio de consentimento verbal no início das entrevistas, em conformidade com os princípios do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE).

A identificação dos participantes nos dados brutos foi substituída por pseudônimos analíticos (F.B. e R.O.) em todas as etapas de codificação, análise e redação da tese, conforme recomendações metodológicas para pesquisas qualitativas (Kvale & Brinkmann, 2009; Flick, 2008). O processo de anonimização foi conduzido de modo a impedir a identificação direta ou indireta dos participantes.

Na prática, a anonimização envolveu a substituição dos nomes reais dos entrevistados por códigos analíticos utilizados ao longo da pesquisa. Também foram omitidas ou generalizadas referências institucionais que pudessem permitir a identificação indireta das empresas ou dos projetos mencionados nas entrevistas. Quando necessário para contextualização analítica, foram utilizados termos genéricos para caracterizar a origem da fala, como “empresa do setor de tecnologias ambientais” ou “empresa de base tecnológica”.

As citações diretas utilizadas na análise foram revisadas para remover eventuais marcadores pessoais. Quando o entrevistado mencionava nomes próprios ou referências identificáveis durante a fala, essas expressões foram substituídas por termos neutros entre colchetes, preservando o sentido da declaração sem comprometer o anonimato.

Adicionalmente, dados sensíveis que poderiam facilitar a identificação dos participantes, como valores financeiros específicos associados aos projetos, não foram apresentados de forma individualizada na análise qualitativa. A discussão concentrou-se na percepção dos entrevistados sobre os efeitos do financiamento público, a dinâmica de acesso aos instrumentos de fomento e as barreiras enfrentadas no processo de inovação.

Por fim, os arquivos originais contendo as gravações e as transcrições completas das entrevistas foram mantidos sob guarda do pesquisador em ambiente seguro. Esses dados brutos, que incluem informações potencialmente identificadoras, não foram disponibilizados em apêndices ou repositórios públicos, de modo a preservar o anonimato e a confidencialidade garantidos aos participantes.

2.2.6 Análise de conteúdo (Bardin, 2011): as três fases

Com as entrevistas anonimizadas e limpas, o método de análise das entrevistas utilizado foi a análise de conteúdo (Bardin, 2011), operacionalizada na modalidade categorial temática, com sistematização conforme Silva e Fossá (2015). O método organiza-se em três fases:

2.2.7.1 Fase 1 — pré-análise

Nesta etapa foram realizadas: (a) leitura flutuante das transcrições integrais das entrevistas, com o objetivo de familiarizar o pesquisador com o corpus antes de qualquer codificação; (b) formulação de hipóteses interpretativas à luz do referencial teórico adotado (Mazzucato, 2014; North, 1990; Sábato e Botana, 1968; Labiak Jr., 2012); e (c) definição das

regras de recorte das Unidades de Registro (URs), entendidas como trechos de fala com sentido analítico completo e diretamente relacionados às perguntas de pesquisa.

A pré-análise incluiu ainda uma auditoria sistemática da cobertura do corpus. Após a codificação inicial, o pesquisador releu integralmente ambas as transcrições para verificar se algum segmento relevante havia sido omitido. Essa verificação resultou na inclusão de 11 novas unidades de registro, ampliando o corpus de 22 para 33 URs, além da identificação de uma quinta categoria analítica (Categoria Final (CF5), que não havia sido prevista no framework inicial.

2.2.6.2 Fase 2 — exploração e codificação

Nesta fase procedeu-se ao recorte das unidades de registro, definidas como trechos de fala com sentido completo e relevância para as questões de pesquisa. Cada UR recebeu um rótulo analítico (código) que sintetiza o conteúdo da fala em linguagem analítica. Posteriormente, os códigos foram agrupados em categorias iniciais com base na similaridade temática.

O corpus final da Fase 2 foi composto por:

- 33 Unidades de Registro (URs) no total
- 15 URs atribuídas ao Entrevistado F.B.
- 18 URs atribuídas ao Entrevistado R.O.
- 8 Categorias Iniciais
- 1 UR de contra-evidência (UR10), marcada com tratamento visual diferenciado

A inclusão de unidades de registro no corpus seguiu três critérios: (i) relevância analítica, isto é, o trecho deveria responder a pelo menos uma das perguntas de pesquisa sobre o impacto do PIPE e as barreiras ao ecossistema de inovação; (ii) completude semântica, de modo que o trecho pudesse ser interpretado de forma autônoma, sem depender de outras falas adjacentes; e (iii) fidelidade à fala do entrevistado, preservando o conteúdo verbal original. Nos casos de reconstrução textual, o sentido foi conferido diretamente na gravação da entrevista.

Foram excluídos do corpus trechos puramente contextuais, como apresentações iniciais, comentários logísticos ou observações sem conteúdo analítico. Também foram descartadas repetições de conteúdo já capturado em outra unidade de registro do mesmo entrevistado, salvo

quando a repetição acrescentava nuance interpretativa relevante. Por fim, foram excluídos trechos cuja transcrição automática apresentava fragmentação excessiva que impossibilitava reconstrução confiável a partir da gravação.

2.2.6.3 Fase 3 — tratamento, inferência e interpretação

Nesta fase foram realizadas: (a) a aglutinação das Categorias Iniciais em Categorias Finais, conforme o procedimento proposto por Silva e Fossá (2015); (b) a construção do Mapa de Convergência, que classifica cada Categoria Final segundo o grau de suporte empírico entre os entrevistados (TOTAL, PARCIAL ou UNILATERAL); (c) a triangulação com os dados quantitativos apresentados no Capítulo 4; e (d) a elaboração das inferências interpretativas e da proposição síntese da análise.

A categorização adotada para CF1 a CF4 possui natureza a priori (dedutiva). Essas categorias foram definidas antes da imersão completa no corpus, com base no referencial teórico da pesquisa (Mazzucato, 2014; North, 1990; Sábato e Botana, 1968). Essa estratégia difere da abordagem indutiva clássica da análise de conteúdo proposta por Bardin (2011), na qual as categorias emergem exclusivamente do material empírico.

A adoção de categorias dedutivas é metodologicamente reconhecida em estudos orientados por referencial teórico consolidado (Mayring, 2014; Elo e Kyngäs, 2008). Nesse tipo de abordagem, o objetivo não é construir teoria a partir do zero, mas examinar empiricamente se determinados conceitos ou proposições teóricas encontram correspondência no material analisado. No presente estudo, buscou-se verificar, a partir da experiência dos beneficiários do PIPE FAPESP, se as proposições teóricas relacionadas ao Estado empreendedor (Mazzucato), à dependência de trajetória institucional (North) e às relações entre universidade, empresa e governo no sistema de inovação se manifestam no contexto brasileiro.

Reconhece-se, contudo, que a categorização dedutiva pode introduzir risco de viés de confirmação, na medida em que o pesquisador pode tender a identificar nos dados evidências que reforcem o referencial teórico previamente adotado. Para reduzir esse risco, foram adotados dois procedimentos adicionais. O primeiro foi a inclusão explícita de contra-evidências no corpus analítico, quando determinados trechos de fala apresentavam posições divergentes do padrão predominante. O segundo foi a abertura para categorias indutivas emergentes do próprio material empírico. A auditoria sistemática do corpus realizada na fase

de pré-análise permitiu, por exemplo, a identificação da categoria CF5, que não estava prevista no framework inicial.

Finalmente, o Mapa de Convergência constitui um instrumento de triangulação interna (Flick, 2008) utilizado para avaliar em que medida cada Categoria Final é sustentada pelas evidências provenientes de ambos os entrevistados. Para essa avaliação foram definidos três níveis de convergência.

A classificação TOTAL ocorre quando ambos os entrevistados apresentam unidades de registro diretas associadas à mesma categoria. Nesse caso, a convergência é explícita e bidirecional, conferindo maior robustez interpretativa às conclusões derivadas da categoria. A classificação PARCIAL ocorre quando um dos entrevistados apresenta evidências diretas para determinada categoria, enquanto o outro a confirma apenas de forma indireta: seja por contraste, por ausência significativa ou por meio de unidades de registro vinculadas a outras categorias que tangenciam o mesmo fenômeno. Nessa situação, a categoria permanece analiticamente válida, mas sua interpretação exige cautela quanto ao grau de generalização.

A classificação UNILATERAL, por fim, ocorre quando apenas um entrevistado apresenta evidência direta para a categoria. Nesses casos, a categoria pode representar um fenômeno relevante no corpus analisado, mas sua generalização permanece limitada ao perfil específico do informante, demandando confirmação em corpus ampliado.

2.2.7 Indicadores de contexto macroeconômico: justificativa da escolha do IGI (WIPO) e da PINTEC (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)

Para contextualizar o cenário da inovação e avaliar o impacto estrutural do financiamento à Indústria 4.0 no Brasil, esta pesquisa adota a triangulação de dois indicadores de amplo espectro: o Índice Global de Inovação (IGI/WIPO) e a Pesquisa de Inovação (PINTEC/IBGE). Em contrapartida, optou-se pela exclusão metodológica dos indicadores de desempenho produzidos pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), como o Índice de Maturidade Digital (IMD). Essa delimitação fundamenta-se em razões metodológicas relacionadas ao escopo analítico e à comparabilidade dos indicadores.

O Índice Global de Inovação, publicado anualmente pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO, 2024; Dutta, Lanvin & Wunsch-Vincent, 2023), foi selecionado por oferecer uma métrica comparativa internacional do ecossistema de inovação. Sua estrutura metodológica organiza os países em dois eixos complementares: *inputs* de

inovação (instituições, capital humano, infraestrutura e ambiente de negócios) e *outputs* de inovação (resultados tecnológicos e criativos).

Essa arquitetura permite identificar fatores estruturais que condicionam o desempenho inovativo de um país, como a disponibilidade de capital humano qualificado, o ambiente regulatório e as condições institucionais para o desenvolvimento tecnológico. Ao posicionar o Brasil em relação a mais de 130 economias, o IGI fornece um referencial comparativo externo para avaliar se os programas de financiamento analisados no Capítulo 4 são suficientes para alterar o desempenho sistêmico do país ou se o fomento estatal opera em escala limitada diante das defasagens estruturais do sistema nacional de inovação.

Enquanto o IGI fornece uma perspectiva macroeconômica comparativa, a Pesquisa de Inovação (PINTEC) permite observar o comportamento inovativo das empresas brasileiras em nível microeconômico (IBGE, 2024). Sua utilização nesta pesquisa baseia-se em quatro características metodológicas.

Primeiramente, a PINTEC possui elevada representatividade estrutural. A pesquisa investiga uma amostra ampla de empresas, historicamente superior a 17 mil firmas representando a indústria brasileira de transformação e segmentos selecionados do setor de serviços.

Em segundo lugar, a PINTEC adota o critério de introdução efetiva de inovação. De acordo com a metodologia do Manual de Oslo (OCDE/Eurostat, 2018), a pesquisa mede se a empresa introduziu produto ou processo novo ou significativamente aprimorado no mercado, e não apenas se realizou atividades de pesquisa e desenvolvimento ou declarou intenção de inovar. Esse critério é compatível com a definição de inovação utilizada nesta tese.

Em terceiro lugar, a aplicação periódica da PINTEC desde o ano 2000 permite a observação de tendências de longo prazo na taxa de inovação da indústria brasileira, possibilitando comparações longitudinais entre diferentes ciclos econômicos e políticas públicas.

Por fim, a PINTEC abrange também empresas que não são beneficiárias de programas públicos de fomento. Isso permite comparar, ainda que indiretamente, o comportamento das empresas apoiadas por instrumentos como os analisados no Capítulo 4 com o universo mais amplo da estrutura produtiva nacional.

2.2.7.1 A inadequação dos índices da ABDI

A não utilização de indicadores produzidos pela ABDI, como o Índice de Maturidade Digital (IMD), decorre das características metodológicas dessas métricas. Diferentemente da

PINTEC, que investiga o conjunto da indústria, os índices da ABDI concentram-se predominantemente em empresas participantes de seus próprios programas de apoio, como Brasil Mais Produtivo, Agro 4.0 e iniciativas de digitalização empresarial. Essa característica gera um problema de viés de seleção amostral (Heckman, 1979), pois a análise recairia apenas sobre empresas que já receberam apoio institucional.

Além disso, esses índices baseiam-se em questionários de autodiagnóstico respondidos pelas próprias empresas participantes, comparando indicadores de desempenho em dois momentos distintos (T0 e T1). Esse procedimento pode introduzir o chamado *common method bias*, fenômeno amplamente discutido na literatura de mensuração organizacional (Podsakoff et al., 2003), no qual a utilização da mesma fonte para medir variáveis em momentos distintos tende a inflar artificialmente os resultados observados.

Por fim, há uma diferença no próprio objeto de mensuração. O IMD mede o grau de prontidão ou maturidade digital das empresas em escala ordinal, por exemplo classificando-as como iniciantes, emergentes, intermediárias ou líderes. Essa métrica não mede diretamente a introdução de inovação tecnológica no mercado, que é o conceito de inovação adotado nesta pesquisa e na metodologia da PINTEC (OCDE/Eurostat, 2018). Dessa forma, trata-se de um indicador de acompanhamento de desempenho de programas específicos, não de um indicador estrutural da dinâmica inovativa da economia (ABDI, 2016). Isso não invalida, de forma alguma, o índice da ABDI, mas por essas razões esse aqui não foi considerado o ideal para responder ao objetivo de pesquisa.

2.2.8 Limitações da análise qualitativa

A análise qualitativa apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A primeira refere-se ao tamanho do corpus. O estudo baseia-se em duas entrevistas, o que constitui a principal restrição analítica. Embora seja possível argumentar saturação teórica para as categorias CF1 e CF2, nas quais há convergência total entre os entrevistados (Glaser & Strauss, 1967), as categorias CF3, CF4 e CF5 requerem confirmação em corpus ampliado. Em particular, CF5 está ancorada exclusivamente na experiência de R.O., o que impede sua generalização sem a inclusão de entrevistas adicionais com empresas de setores sujeitos a maior competição internacional em propriedade intelectual.

Outra limitação diz respeito ao possível viés de sobrevivência. Ambos os entrevistados representam empresas que conseguiram acessar o fomento público e permanecem ativas no mercado. A experiência de empresas que não sobreviveram às etapas críticas do processo de

inovação, frequentemente descritas como o “Vale da Morte”, não está representada no corpus. Essas trajetórias poderiam oferecer evidências adicionais especialmente relevantes para as categorias CF2, CF3 e CF4.

Há também limitações associadas ao uso de transcrição automática. Oito unidades de registro, correspondentes a aproximadamente 24% do corpus, foram reconstruídas a partir de trechos em que a transcrição automática apresentou ruído. Embora o conteúdo tenha sido verificado diretamente na gravação das entrevistas, a fidelidade literal da transcrição não pode ser assegurada integralmente nesses casos. Por essa razão, tais trechos foram utilizados com cautela na interpretação analítica.

Observa-se ainda uma limitação geográfica no corpus analisado. Ambos os entrevistados estão localizados no estado de São Paulo, especificamente na capital e na região metropolitana. Essa concentração territorial restringe a análise da categoria CF3, relacionada às assimetrias regionais de acesso ao sistema de inovação, ao ponto de vista de atores situados no principal polo do sistema brasileiro de ciência, tecnologia e inovação. A experiência de empresas localizadas nas regiões Norte, Nordeste ou Centro-Oeste, onde essas barreiras podem assumir maior intensidade, não está representada.

Outra limitação refere-se à ausência da perspectiva institucional das agências de fomento. As entrevistas capturam exclusivamente o ponto de vista das empresas beneficiárias. Não foram realizadas entrevistas com representantes das agências responsáveis pelos programas analisados, como FAPESP, BNDES ou FINEP, que poderiam oferecer explicações institucionais sobre o desenho das regras de financiamento, os riscos regulatórios considerados e as reformas em curso nos instrumentos de apoio à inovação. Uma análise mais abrangente exigiria essa triangulação adicional. Por fim, o recorte temporal da pesquisa reflete a disponibilidade das bases de dados utilizadas e a vigência dos programas analisados, abrangendo o período de 2018 a 2024.

2.3 USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Em cumprimento ao disposto na Portaria Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) n.º 2.664, de 6 de março de 2026, que institui a Política de Integridade na Atividade Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, declara-se o uso de ferramentas de inteligência artificial generativa (IAG) no processo de elaboração desta dissertação. O uso não é vedado pela referida norma, mas exige declaração expressa da ferramenta utilizada, da finalidade e da fase da pesquisa em que ocorreu.

A ferramenta utilizada foi o modelo Claude (Anthropic), acessado via plataforma Claude.ai durante o período de outubro de 2025 a abril de 2026. O uso abrangeu duas dimensões distintas. Na dimensão de análise de dados, a IAG apoiou o processamento das bases FINEP e BNDES: extração e limpeza dos registros de desembolso, padronização de campos, tratamento de valores ausentes e geração dos scripts em Python utilizados para o cálculo dos indicadores quantitativos (Valor Médio por Operação, normalização temporal e distribuição setorial por CNAE). Esses scripts estão disponibilizados como material suplementar desta tese. Já na dimensão de redação, a ferramenta foi empregada na revisão textual e adequação da linguagem acadêmica: verificação de conectores argumentativos, consistência terminológica e conformidade com as normas ABNT. As interpretações dos resultados, os argumentos analíticos e as conclusões são de autoria exclusiva do pesquisador.

CAPÍTULO 1 – INDÚSTRIA 4.0 E SEU IMPACTO NA INOVAÇÃO INDUSTRIAL

A Indústria 4.0 é um processo que se vive na atualidade e é decorrente dos avanços científicos associados à interoperabilidade de sistemas cyberfísicos. Essa associação, vincula no mesmo processo a produção, circulação e armazenamento de grandes contingentes informacionais, associados ao manejo de sistemas físicos, de forma digital. Essa nova modalidade tecnológica, ao ser introduzida na produção industrial, vem sendo chamado de Manufatura Avançada (Estados Unidos da América (EUA)), Indústria do Futuro (França (FR)), e Indústria 4.0 (Alemanha (GER)). Essa tendência tecnológica tende a mudar não só os sistemas produtivos, os deixando mais eficientes, como também mais inteligentes. Portanto, apresentam menos custos e são mais sustentáveis, devido a redução do consumo energético.

Lasi et al. (2014) identificam dois vetores que caracterizam a Indústria 4.0: um vetor de tração, associado à demanda por personalização em massa e ciclos de produto mais curtos, e um vetor de impulsão, decorrente do amadurecimento dos sistemas ciber-físicos, da internet das coisas e da computação em nuvem. Schwab (2016) reforça ao colocar que a especificidade desta revolução reside na convergência desses sistemas em um único ambiente produtivo integrado, distinguindo-a das revoluções anteriores, nas quais uma única tecnologia habilitadora definia o paradigma.

A apropriação desse novo aparato tecnológico no uso cotidiano dos cidadãos, pretende mudar toda a forma de viver em sociedade devido ao uso desses produtos em soluções da vida diária como o uso da inteligência artificial. Por isso, falamos em uma Quarta Revolução Tecnológica ou Industrial. Entender a nova realidade que virá da I4.0 requer que a situemos dentro do contexto das revoluções tecnológicas e industriais que a humanidade vivenciou e que implicaram em mudanças que impactaram a vida em sociedade.

Dessa forma, entendemos que o desenvolvimento da ciência e da tecnologia estão imbricadas no processo histórico das grandes revoluções industriais, tecno-científicas e sociais que aconteceram nos últimos cinco séculos, a partir de uma perspectiva de protagonismo europeu, continente no qual se deu o apontamento da Primeira Revolução Industrial.

A Primeira Revolução Industrial trouxe invenções como o motor a vapor, a máquina de tear, o carvão mineral, o ferro e o avanço no setor de transportes, entre os anos de 1760 e 1850. Esses mecanismos possibilitaram uma maior produtividade, dando destaque para a indústria têxtil, trazendo benefícios positivos em relação aos avanços socioculturais e mudanças nas condições de vida de toda uma sociedade.

Para uma outra grande parcela da população, entretanto, houve um aumento abrupto e exponencial das desigualdades através da exploração da classe trabalhadora no processo de produção, onde os direitos trabalhistas praticamente não existiam. A Primeira Revolução Industrial trouxe uma maior riqueza nacional e *per capita* concomitantemente a uma massificação de pessoas pobres nos centros urbanos. Os trabalhadores que manejavam as máquinas e extraíam os recursos naturais, como o carvão, trabalhavam em regime análogo a escravidão, inclusive com a utilização de trabalho infantil (Moll, 2021).

Na sequência, a Segunda Revolução Industrial não estava mais centrada na Grã-Bretanha, pois houve uma extensão dos adventos proporcionados pela Primeira Revolução Industrial em países como Alemanha, França, Bélgica, Itália, Dinamarca, União Sueco-Norueguesa, Estados Unidos e Japão (Moll, 2021). A indústria se beneficiou com a realização de inovações que possibilitaram a difusão da energia elétrica, o avanço da química (como fertilizantes, remédios e papel) e uma diversidade de produtos que impactaram diretamente no modo de vida das pessoas (como a utilização do aço, telégrafos e sinais de rádio transatlânticos). Essas inovações favoreceram uma maior velocidade na comunicação, motores de combustão interna, automóveis, a lâmpada, o avião, os primeiros arranha-céus, a dinamite, o ácido sulfúrico e o plástico. Esses processos de mudança na indústria surgiram por volta de 1870 e duraram até 1914, aproximadamente (Moll, 2021; Mokyr; Strotz, 1998).

Nesse período, houve uma melhor aplicabilidade de inovações que já existiam de forma isolada. Também foram proporcionadas melhorias tecnológicas, com ampliação e difusão desses avanços na sociedade (Mokyr; Strotz, 1998). Moll (2021) acredita que houve uma estagnação tecno-científica entre os anos de 1915 e 1960, apesar dos avanços e descobertas produzidas pelas Grandes Guerras Mundiais, como a fissão nuclear, o aprimoramento do plástico e os avanços na área da saúde.

O que marca o início da Terceira Revolução Industrial está relacionado ao setor informacional, que também envolve a informática, com o aprimoramento dos transistores, o uso do computador, a comunicação pela internet, a interligação global digital, o adensamento da globalização num processo de produção capitalista sistemática e a fabricação de robôs utilizados na produção industrial. Esses fatores ampliaram mais ainda a oferta de bens e serviços, além da terceirização da produção em escala global, associada a centralização de capital, pautada na qualidade total e flexibilidade, que por sua vez, podem reduzir postos de trabalhos ou precarizar a vida dos trabalhadores, permitindo o aumento da pobreza (Moll, 2021).

A Quarta Revolução Industrial é o que conhecemos por Indústria 4.0. Existe um debate sobre a existência da Quarta Revolução Industrial ou se ainda vivemos a Terceira Revolução Industrial. Porém, são inegáveis as descobertas de novas tecnologias que nos encaminham para uma próxima revolução. Por serem iniciais, ainda não afetam massivamente a indústria ou a vida em sociedade, demonstrando que se trata de um processo em curso.

Em termos práticos, a Indústria 4.0 é um avanço tecnológico que permite ligar a produção com inovações digitais possibilitando uma melhoria na comunicação, denominada como interoperabilidade entre *softwares*, sistema físicos, produtividade e consumo. Com esses recursos é possível uma flexibilidade e otimização da produção por meio do processamento instantâneo de informações e mudanças operacionais, chamado de gestão inteligente automática (Dalenogare et al., 2018; Xu et al., 2018). Essa gestão permite que as fábricas possam se autogerenciar com a ajuda da análise contínua de dados (Kamble et al., 2018), criando fábricas inteligentes por meio dos sistemas ciberfísicos que permitem, a partir do IoT, o surgimento de uma manufatura digital.

A coleta de dados de forma autônoma possibilita uma maior conexão entre fornecedores, consumidores e a empresa (Lira; Reis; Mello, 2023). Tecnologias como sistemas ciberfísicos, comunicação máquina a máquina (M2M) e IoT são tecnologias 4.0 que criam uma infraestrutura de integração e comunicação entre outras tecnologias (Fatorachian; Kazemi, 2018; Zangiacome et al., 2020). De acordo com a análise de Klingenberg et al. (2019), entre as 111 tecnologias relacionadas à Indústria 4.0, as principais são sistemas ciberfísicos, IoT, Big Data; ferramenta de análise de dados e computação em nuvem, as quais são essenciais para a I4.0, pois permitem a interoperabilidade de vários equipamentos (Frank et al., 2019).

1.1 TECNOLOGIAS ASSOCIADAS À INDÚSTRIA 4.0 (IOT, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, MANUFATURA ADITIVA, BIG DATA)

Para contextualizar o ritmo de difusão dessas tecnologias, basta observar que os feitos da Primeira Revolução Industrial demoraram cerca de 120 anos para se espalhar fora da Europa. Já em 10 anos a internet estava conhecida em vários países, sendo possível a difusão de novas tecnologias por meio dela. A internet foi extremamente importante para o desenvolvimento da Indústria 4.0. As novas tecnologias que surgiram têm a tecnologia digital como a plataforma principal para o seu desenvolvimento, como a Inteligência Artificial e realidade aumentada, nas quais se incluem a realidade virtual e manufatura aditiva, a impressão 3D (Adhikari, 2020).

Não obstante, os países menos desenvolvidos enfrentam dificuldades específicas para a implantação da Indústria 4.0 que Adhikari (2020) chama de *3 As* (Acessibilidade, Alcance, Aplicabilidade). A acessibilidade está relacionada com as patentes dessas novas tecnologias, pois elas apresentam um uso restrito a poucas regiões e países centrais. Estimasse que 90% das patentes relacionadas as tecnologias da Quarta Revolução Industrial estão situadas em cinco regiões, sendo elas: 29% na Europa, 25% Estados Unidos, Japão 13%, China 6% e Coreia do sul 3% (Adhikari, 2020). Essa concentração ocorre porque, nessas regiões, existe uma grande absorção dessas tecnologias por gigantes startups tecnológicas que dominam a Inteligência Artificial, como Google, Apple, Facebook, Amazon, Intel, Microsoft, Meltwater e Twitter (Adhikari, 2020).

Há ainda dificuldades estruturais relacionadas a outros fatores que se dão nos países em desenvolvimento devido a outros problemas sociais como, por exemplo: a extrema desigualdade de classe; falta de investimentos estatais; dificuldades para investimentos em P&D, que é uma condição primordial para o desenvolvimento em I4.0. A base da maioria das tecnologias I4.0 está entrelaçada à internet que por sua vez funciona por meio de eletricidade. As regiões em desenvolvimento como a africana, alguns países da Ásia e alguns países da América Latina, a questão da energia é um ponto a ser melhorado, pois sem uma fonte energética com uma excelente distribuição, é impossível a difusão da internet e por consequência da I4.0 (Adhikari, 2020). O sinal 5G ainda é uma realidade distante da maioria dos habitantes de países africanos e em alguns países da Ásia e América Latina, impondo barreiras à tecnologia I4.0.

O alto custo dessas tecnologias também é uma barreira que pode prejudicar os investimentos estatais e por consequência a sua expansão no mercado devido aos altos preços (Adhikari, 2020). Por outro lado, a impressão 3D, que também compõe as tecnologias da Quarta Revolução Industrial, passou por um barateamento no mercado, tanto para a indústria quanto para uso doméstico gerando um alcance e acessibilidade maior os países mais pobres. Essa tecnologia já pode ser comprada por 300 dólares e sua matéria prima já pode ser composta de recicláveis e não somente por polímeros, o que também contribui para a sustentabilidade ecológica (Adhikari, 2020).

A Acessibilidade e o Alcance são condições necessárias para a difusão da Tecnologia 4.0, mas insuficientes sem a Aplicação para que ela seja efetivada, que requer capacidades técnicas e disciplinas nas áreas de engenharias, matemática, computação. Mas, antes de tudo, novas capacidades cognitivas e mentais capazes de enfrentar uma nova modalidade de aprendizagem, de produção e de gestão pautados no uso de plataformas digitais que são base

de toda tecnologia 4.0. Adhikari (2020) nomeia esses processos de preparação de novas competências interpessoais para a disruptiva digital.

As habilidades que têm sido mais requisitadas, seriam “computação em nuvem, Inteligência Artificial, raciocínio analítico, gestão de pessoas e design de experiência do usuário”. Já as competências no âmbito interpessoal para essas atividades são “criatividade, persuasão, colaboração, adaptabilidade e gestão do tempo”. (Charlton, 2019 apud Adhikari, 2020, p. 49) [verificar fonte primária: buscar Charlton (2019) para citação direta]. O que pode chamar atenção é que essas competências interpessoais também podem mudar em pouco tempo, inclusive a ordem de prioridades delas, devido a velocidade de disseminação de informação e aprendizado que dessas tecnologias em curto espaço de tempo, impactando toda o tecido sociedade.

Por isso, cada vez mais os seres humanos vão precisar desenvolver habilidades que a transformação digital ainda não pode fazer como a “criatividade, pensamento crítico, gestão de pessoas e inteligência emocional, para a resolução de questões complexas” que, para Adhikari (2020, p. 49), são as mais importantes. Essas questões podem significar uma barreira para os países pobres, pois muitos deles não conseguem ofertar a educação básica de forma satisfatória, com disciplinas e atividades que desenvolvam tais habilidades e troquem a rigidez e inflexibilidade por sistemas educacionais flexíveis e adaptáveis. Essa mudança pode necessitar de uma forte determinação política, apoio externo e de agências privadas (Adhikari, 2020).

Para que os elementos da Quarta Revolução Industrial sejam assimilados e desenvolvidos nos países pobres, é necessária a formulação de políticas e regulamentações. As políticas incentivadoras devem apoiar a implantação das exigências requeridas nesse âmbito, como as novas formas de aprendizagens e competências sociais, além de uma infraestrutura básica para o bom desempenho das tecnologias 4.0 (Adhikari, 2020). Para tanto, deve existir uma articulação e sinergia entre órgãos públicos e entidades privadas nacionais e internacionais para eliminar as barreiras espaciais e institucionais das regiões, permitindo uma conectividade digital (Adhikari, 2020).

A política de comércio, deve agir junto com a pesquisa de Ciência, Tecnologia e Inovação, que deve estar articulada com as políticas industriais e estas com as políticas educacionais que, por sua vez, devem ter uma interação com as políticas de juventude (Adhikari, 2020). Diminuir os limites de propriedades estrangeiras da I4.0, regulação fiscal, subsídios, redução tarifária de importação, são algumas ações que devem ser executadas para permitir o crescimento desse setor, associadas as políticas de gênero. Além de uma forte política de regulamentação que permita a segurança de dados (Adhikari, 2020).

Em síntese, a Indústria 4.0 não é apenas uma nova tecnologia ou combinação de plataformas digitais, mas uma harmonização de tecnologias inovadoras com caráter disruptivo, cuja base de seu funcionamento é o fluxo constante de informações, em sincronia com os sistemas físicos e digitais (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017), como a computação em nuvem, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva (Impressão 3D), Robótica (Drones), Blockchain, Big Data e IoT.

1.2 A COMPUTAÇÃO EM NUVEM

Ao mencionar o termo “nuvem”, tem-se uma relação com uma ideia abstrata ou algo que seja sublime e elevado. No entanto, quase ninguém associa com algo diretamente ligado a uma central permeada por um emaranhado de fios, em grandiosas estruturas físicas, que contém instalações de grandes centrais, movidas por altas voltagens de energia elétrica (Jordan, 2015). A nuvem tem o seu aspecto imaterial, pois se trata de informação, relacionados ao seu armazenamento e compartilhamento.

As empresas de tecnologia gigantes, conhecidas como Big Techs (como a Google e a Apple), oferecem seus serviços em nuvem para seus clientes, assegurando seus usuários que, ao guardarem suas informações em seus arquivos centrais, por meio de acesso aos seus servidores, todas essas informações estarão a salvo e em segurança, podendo ser acessadas e compartilhadas por qualquer usuário, em qualquer lugar, desde que ele tenha acesso a energia elétrica e sinal de internet (Jordan, 2015).

As Big Techs garantem a segurança total desses arquivos no armazenamento e no trato dessas informações por meio dos seus servidores, ou seja, através da disponibilização de seus computadores centrais, armazenam os dados dos usuários na nuvem (Jordan, 2015). O Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia do Departamento de Comércio, dos EUA, define como características fundamentais da computação em nuvem:

1. Autoatendimento sob demanda, onde cada usuário pode requisitar de forma pessoal e sem interação humana, o uso dos espaços para armazenagem e compartilhamento de suas informações, por meio da sua unidade computacional individual conectada à internet;
2. O Agrupamento de recursos permite, por meio de vários recursos físicos e virtuais, atendimento de vários consumidores usando um modelo de vários inquilinos atribuídos e reatribuídos de acordo com a demanda do consumidor.

Esse cliente não sabe da localidade de onde vem esses recursos, somente por meio de alta prospecção pode se saber o país, o Estado e o devido datacenter;

3. A elasticidade rápida é uma característica que permite ao consumidor um formato apropriado e com aparência ilimitada para o processamento e armazenamento de suas informações que podem ser acessadas a qualquer momento;
4. Serviço medido garante que a nuvem controla e otimiza em algum nível de abstração, mensurando o tipo de serviço apropriado a partir do armazenamento, processamento, largura de banda e contas de usuários ativos. Ele transmite transparência tanto para o usuário quanto para o provedor, pois pode ser monitorado, controlado e relatado (Mell; Grance, 2011).

A nuvem transmite uma sensação de imaterialidade e, de fato, ela tem essa característica. Para o usuário, como afirma Jordan (2015), ela apresenta qualidades mágicas como ser móvel, infinita e múltipla, onde o consumidor pode interagir, elaborar e compartilhar informações, ignorando os limites espaciais, criativos, temporais e de dados.

Mas não podemos esquecer que existe toda uma composição material computacional para que a nuvem tenha essa impressão etérea, como infinitas conexões de fios e cabos em centrais de computadores configurados de forma complexa. Essa rede permite as modificações quase que instantâneas dos usuários, podendo atender diferentes nichos, diferentes comportamentos e formas de utilização, que passam desde ouvir música até trabalhar em equipes multiprofissionais em documentos compartilhados, criar imagens, compartilhar status etc.

As Big Techs que são regulamentadas por um Estado e devem possuir política de privacidade e termos de responsabilidade. Ou seja, as Big Techs que trabalham com o sistema de nuvem devem garantir o sigilo das informações armazenadas e compartilhadas, ainda que sejam de mau gosto ou ilegais, por meio de termos de responsabilizações individuais de cada informação postada ou manejada (Jordan, 2015).

A importância da confiança dos usuários no armazenamento dos dados em nuvem é essencial para que esse conceito seja garantido. Pois essa imaterialidade só é possível se o usuário pensar que os dados colocados e processados em nuvem vão ser devidamente guardados e sob responsabilidade de alguma jurisdição (Jordan, 2015). Se o usuário apresenta uma relação de desconfiança em relação ao uso dessa tecnologia, vai começar a construir a materialidade desse processo que deveria apresentar aspecto etéreo, perguntando-se qual o

destino dos dados, qual computador está mantendo a salvo essas informações e em qual local, o que desconstruiria a concepção de nuvem (Jordan, 2015).

A partir dessa ideia pode-se questionar até que ponto esse conceito de nuvem é aceitável. Por exemplo a lei patriota dos Estados Unidos obriga empresas como Google, Facebook, Tumblr, entre outras, sob seu domínio a entregarem dados de usuários quando o Estado determinar, mesmo que estas não estejam em solo norte-americano (Jordan, 2015). O efeito mágico que a nuvem apresenta esconde essa ideia de colocar as informações num computador central que vai guardar essa informação, o que preocupa aquelas pessoas que precisam compartilhar e guardar informações sigilosas e confidenciais (Jordan, 2015).

O efeito sublime que traz o conceito de nuvem também está associado ao papel que as Big Techs como o Google transpassam, onde muitos se referem a empresa como um Deus, ou seja, algo imaterial, atemporal e sem manejo humano. Esquecem que, na verdade, o Google é uma corporação com sede em endereço físico, em um bairro norte americano, composta por diversos funcionários (Hillis; Petit; Jarret 2013 apud Jordan, 2015) [verificar fonte primária: buscar Hillis; Petit; Jarrett (2013) para citação direta]. Quando a mágica da nuvem se desfaz, a materialidade da nuvem aparece, como quando o Iphone estava registrando a localização das pessoas de forma automática em arquivos não criptografados. A Apple afirma que foi um bug que foi posteriormente corrigido, mas o que demonstra também a fragilidade da confiança na nuvem (Jordan, 2015).

A computação em nuvem anda de mãos dadas com a IoT e depende de infraestrutura adequada para ser desenvolvida, como internet banda larga, além de gerar alta demanda de energia elétrica, o que a torna inviável em alguns países em desenvolvimento. Com relação a infraestrutura seria necessário confiáveis serviços de banda larga mais baratos nos países em desenvolvimento. Seria necessário a instalação de datacenters como centrais para gerenciamento de nuvens, embora essa solução possa parecer contraditória, devido ao enorme gasto energético (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

1.3 A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A Inteligência Artificial (IA) imita funções cerebrais humanas como “aprendizagem, raciocínio lógico e autocorreção por máquinas” (Adhikari, 2020, p. 53). Esse sistema está baseado em aprendizagens profundas e automáticas por meio de algoritmos de treinamento, permitidos por uma inserção e processamento de muitos dados (Adhikari, 2020). Quanto mais dados são inseridos melhor a eficiência da IA.

A IA não tem condições de procurar novos conhecimentos por si mesma. Ela processa os dados por meio da inserção de documentos, imagens, vídeos etc. fornecidos por seres humanos. Adhikari (2020) afirma que essa condição tem proporcionado a fundação de empresas que trabalham com a inserção de novos dados. Essas agências têm sido instaladas em países pobres, pois não exige muito custo, estando na cadeia produtiva inferior da IA, por ser uma área de baixa densidade tecnológica (Adhikari, 2020).

Esses trabalhos têm sido realizados em tempo parcial e tem sido uma ótima oportunidade para jovens segundo Adhikari (2020). A IA já uma realidade e já está presente em Iphones, como no utilizador Siri, que atende aos comandos dos usuários, além do ChatGPT, da Alexa e buscadores inteligentes do Youtube que seleciona as informações conforme os interesses dos usuários.

Quando a IA é associada a robótica, podemos ter uma associação de estruturas mecânicas com comandos inteligentes, como drones que ajudam na produção agrícola, robôs humanoides, entre outros. O setor agrícola tem sido beneficiado pelas sementeiras que com a tecnologia IA que diz para os agricultores a melhor época para o plantio por meio de informações meteorológicas. Com essa tecnologia uma produção agrícola no sul da Índia teve um aumento 30% nos seus rendimentos (Adhikari, 2020).

Uma questão social da IA é que ela pode gerar uma nova onda de obsolescência de empregos, principalmente aquelas voltadas para ações rotineiras, executivas e repetitivas. No entanto, Adhikari (2020) não vê isso como algo ruim pelo menos a longo prazo, pois como em toda revolução existem mudanças que se colocam como disruptivas de um modelo anterior.

Empregos podem se tornar obsoletos, mas a IA também pode gerar uma nova demanda por novos postos de trabalho que exijam “criatividade e engenhosidade; empatia e até mesmo compaixão; pensamento crítico e análise; e interação social complexa que não pode ser realizado facilmente pela IA”, além de trabalhos auxiliares como serviços de formação, manutenção e reprodução de processos (Adhikari, 2020, p. 53). Outras áreas importantes de postos de trabalho na era da I4.0 estão no âmbito do lazer, turismo, comunicações, entretenimento, transporte, setor financeiro, áreas relacionadas ao cuidado, principalmente de idosos devido à alta taxa de envelhecimento global (Adhikari, 2020).

1.4 OUTRAS TECNOLOGIAS

Nesse capítulo trataremos de outras tecnologias relacionadas com a Indústria 4.0. Começando pelos drones, que são pequenas naves voadoras que funcionam sem pilotos e

podem percorrer grandes distâncias e entrar em lugares considerados inacessíveis. Esta tecnologia tem sido utilizada na área de defesa, mas também na área de saúde em países pobres como a Ruanda, que possui um território montanhoso e sem saída para o mar. O governo da Ruanda em parceria com uma startup, com na Califórnia, tem utilizado drones para entregar doações de sangue aos pacientes que necessitam, evitando mortes no país. Uma grande questão dessa tecnologia é a sua capacidade sobrevoar em lugares que saem da zona de permissão pré-estabelecidas, sendo necessário criar regulamentações para evitar o uso indevido do drone (Adhikari, 2020).

A Fábrica Aditiva é realizada a partir da impressão 3D, essa tecnologia ajuda na produção de materiais e peças que precisam de alta precisão (como peças de aviões). Essa tecnologia tem ajudado a construir casas em países pobres e até mesmo edifícios e pontes. Ainda não existe uma precisão sobre perdas de postos de trabalho no setor de construção e de materiais devido por conta dessa tecnologia (Adhikari, 2020).

Blockchain é uma espécie de “livro-razão” que utiliza técnicas criptográficas que armazena informações comerciais e contratuais de forma permanente e a prova de burla. Ela está sendo muito utilizada em transações comerciais, reduzindo os custos com cópias de documentos e escritório, o que ajuda a reduzir o tempo e os custos das transações, gerando mais confiança dos negócios entre as partes envolvidas (Ganne, 2018 apud Adhikari, 2020) [verificar fonte primária: buscar Ganne (2018) para citação direta].

Big Data é um conceito fundamental para a digitalização. Com essa tecnologia da nuvem é possível armazenar uma grande quantidade de dados complexos e processá-los (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017 [verificar fonte primária: buscar Gartner 2015 e Evans 2011]). Através dela é possível, por exemplo, analisar em tempo real o resultado de uma campanha de marketing. Aplicativos como o Spotify e a Apple Store são uma representação do Big Data, que também já tem sido utilizado por pequenas e médias empresas para avaliar a qualidade do seu produto no mercado pelo consumidor.

A possibilidade que o Big Data apresenta não consiste apenas no armazenamento de informações, mas na combinação desse armazenamento por fontes diversas. Por exemplo, podem ser utilizadas imagens de um satélite de uma determinada região, contendo a densidade demográfica local e os preços de materiais, indicando o melhor lugar para iniciar projetos de construção, fornecendo inclusive uma quantidade de atores que poderiam empreender nesses projetos (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

IoT é uma tecnologia constituída pela junção de *hardwares*, *softwares*, redes e sensores. As redes podem ser entendidas como qualquer sinal de interconexão de informação como Wi-

Fi, Bluetooth, 4G, 5G (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017 [buscar fonte primária: UK Gov. Office for Science, 2014]). Os sensores podem ser definidos como dispositivos que percebem informações como temperatura, radiação, vibração, tamanho etc. Quando os sensores estão conectados às redes de internet e computacionais, transmitem essas informações para quem solicita.

Esses sensores conectados as “coisas” que utilizamos todos os dias gera uma explosão de conectividade (Gartner, 2015; Evans, 2011 *apud* Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017). Isso se deve a um menor custo de fabricação dos sensores, o que impulsionou a tecnologia do IoT (Diamandis & Kotler, 2015; UK Government Office for Science, 2014 *apud* Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017). Os sensores funcionam em plataformas com alto poder de armazenamento de dados baseadas em nuvem e programas de análise para processar ainda maior (UK Government Office for Science, 2014 *apud* Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

A IoT tem se proliferado por meio de dispositivos móveis que apresentaram um aumento considerável nos países em desenvolvimento, aumentando a conectividade desses países, onde os serviços financeiros móveis são os mais significativos (Suri & Jack, 2016 *apud* Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017 [verificar fonte primária: Suri & Jack, 2016]). Outro advento que deve ser destacado também por meio da IoT e permitido por meio das redes móveis é o Machine to Machine (M2M). Essa tecnologia permite a interconectividade entre duas máquinas ou mais, por meio de redes móveis permitindo o fluxo de dados entre elas.

O M2M é considerado um subconjunto de conceito que permite a transmissão de dados mais amplo de IoT (GSMA, 2014 *apud* Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017 [verificar fonte primária: GSMA, 2014]). Os serviços de dinheiro móvel, a confluência de redes móveis e o acesso à M2M tem permitido soluções inteligentes para qualificar os serviços energéticos na África e em outros países em desenvolvimento, apresentando novas oportunidades para região (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

As distribuidoras de energia elétrica na África Oriental, por exemplo, têm utilizado a IoT. A partir desses sensores e dispositivos, orientados por determinados parâmetros, é possível identificar quando existe algum problema de transmissão, facilitando os ajustes e a qualidade dos serviços de distribuição elétrica (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017). A IoT tem permitido também a coleta e análise de dados em tempo real de diversos sistemas elétricos com medição precisa, possibilitando um feedback instantâneo aos usuários dos serviços em países africanos (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

Essa inovação que contém efeitos de monitoramento, suporte remoto em tempo real nas regiões mais longínquas, como as regiões rurais, possibilitando a economia e eficiência em

países africanos, diluindo o conceito de que distribuir energia para áreas distantes e de difícil acesso seria algo muito dispendioso (Onyeji-Nwogu; Bazilian; Moss, 2017).

CAPÍTULO 2 – O FINANCIAMENTO PÚBLICO COMO AGENTE POTENCIALIZADOR DA PESQUISA E INOVAÇÃO E O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL

O financiamento público voltado para a P&D com foco nos resultados inovativos é fundamental (Freeman; Soete, 2008, Mazzucato; Perez, 2015). Para tanto, devem existir linhas de financiamento aplicados em P&D que, por sua vez, compõe uma política de ciência e tecnologia vinculadas a uma forte política industrial. Deste feito, as instituições de pesquisas e universidades associadas as ações governamentais com linhas de créditos disponibilizadas a longo prazo, contando ainda com o setor empresarial, formam uma tríade capaz de estimular um desenvolvimento duradouro pautado na produtividade como aponta Chang e Andreoni (2021).

A inovação do momento são as tecnologias 4.0 que, além de inserir uma nova sociabilidade humana, interferem também quando inseridas no setor industrial, melhorando a qualidade do produto, a produtividade e a eficiência, tornando as empresas mais competitivas. A lei de inovação brasileira nº 10.973/04 (Brasil, 2004b) estabelece um novo marco para a relação entre os institutos de pesquisas, as universidades públicas, o governo e as empresas privadas, pois amplia o apoio do Estado à inovação empresarial. Essa lei se caracteriza como um instrumento da implementação da I4.0 no setor industrial brasileiro (Araújo; Andriato; Rodrigues, 2023). Outros marcos institucionais importantes para a implementação da I4.0, no sentido da inovação brasileira podem ser a Lei do Bem de 11.196/2005 (Brasil, 2005), que proporcionou mais recursos em P&D, reduzindo os custos e os riscos de tais atividades; a Lei da informática nº 13.969/2019 (Brasil, 2019), que sucedeu a Lei 8.248/1991 (Brasil, 1991), e tinha por objetivo a concessão de benefícios fiscais às empresas do ramo que realizassem investimentos em P&D (Araújo; Andriato; Rodrigues, 2023).

A retomada de uma política industrial brasileira em 2004, que destinava os recursos às indústrias de transformação, possibilitou uma maior variação do PIB entre os anos de 2004 e 2010 (Araújo; Andriato; Rodrigues, 2023). Portanto, um financiamento consistente, razoável e com foco nos setores de alta tecnologia como a Indústria 4.0 é fundamental para uma sólida promoção do crescimento (Araújo; Andriato; Rodrigues, 2023). A política industrial, a política de ciência, tecnologia e inovação e demais as iniciativas estatais de financiamento público são fulcrais para a modernização do setor produtivo industrial brasileiro, no que toca as tecnologias 4.0.

Revisitar alguns modelos teóricos de inovação que impulsionam o avanço científico, tecnológico e no setor industrial nas sociedades contemporâneas, compreendendo-as de forma interligada com o financiamento estatal público é a proposta desse capítulo. Neste contexto, os modelos de inovação propostos por Sábato e Botana, a teoria da Tripla- Hélice e o conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) oferecem uma estrutura consistente para analisar como as interações entre governo, universidades, centros de pesquisa e as empresas podem gerar não somente o crescimento econômico, mas um desenvolvimento sustentável e inclusivo gerados por políticas de financiamento a longo prazo, como no caso da I4.0.

2.1 OS PARADIGMAS DE CONSTRUÇÃO DA CIÊNCIA MODERNA OCIDENTAL, O ESTADO E A IMPORTÂNCIA DA P&D PARA A INOVAÇÃO

A revolução científica inaugurada em meados do século XVI, iniciou um período de mudança paradigmática da visão do homem que antes era fatalista, mas agora é pautada pelo entendimento do mundo que o cerca e da possibilidade de resolução de problemas (Herrera, 2015). A revolução científica foi fundamental para o conjunto das revoluções industriais, trazendo a ciência e suas tecnologias para o centro do mundo político e econômico. Desde então, os países que passaram pelo processo de industrialização aumentaram sua produtividade por meio de inovações ocasionadas pelas descobertas científicas e tecnológicas, proporcionando bem-estar e melhores condições de vida para população. Depois da Segunda Guerra Mundial, a ciência e a tecnologia passaram a ser um artefato poderoso de dominação, assim como o militar.

Na América Latina, a ausência de uma política científica e tecnológica aplicada na resolução dos problemas da região fez com que diversos países agissem de forma subalterna, exportando commodities que eram trocados por produtos com valor agregado, advindos de uma produção industrial que tinha por base os avanços tecnológicos e científicos dos países industrialmente desenvolvidos (Herrera, 2015).

Essas relações de dependência permitiram que os níveis de saúde, educação e urbanização nos países centrais industriais crescessem, enquanto os países da América Latina no atraso eram mantidos no atraso (Herrera, 2015). A importância da existência de uma política científica e tecnológica no Brasil e na América Latina, segundo o pensamento de Herrera (2015), consiste em construir um conhecimento que olhe para os problemas internos da região para que ela se desenvolva a partir de uma indústria forte. No entanto, existem forças internas e externas contrárias a essa liberação da América Latina que são, respectivamente, uma elite

que mantém os seus privilégios a partir dessa condição de subdesenvolvimento e o grande setor produtivo internacional, altamente científico e tecnológico, que tem como objetivo manter a hegemonia do mercado dos seus produtos na região.

Essas forças contrárias sabem que o alto custo para se construir um sistema científico e tecnológico é extremamente complexo e dispendioso, por isso corroboram para que não se estruture um sistema de alto nível que olhe para as questões internas da América Latina. Todavia, umas das condições para subverter o subdesenvolvimento é justamente a construção desse sistema, pois este, como visto na história, tem um papel central para o progresso social dos países (Herrera, 2015).

Essa desigualdade entre os países que possuem e os que não possuem um sistema científico e tecnológico implantado e produtivo, se torna um dos desafios morais e intelectuais dos pesquisadores da América Latina e de seus respectivos governos por meio de políticas industriais, de ciência, tecnologia & inovação e um correto financiamento público estatal. O envolvimento desses atores e entes de forma sincrônica podem gerar melhores condições que propiciem a pesquisa e o desenvolvimento que, por sua vez, serão capazes de enfrentar o subdesenvolvimento da região (Herrera, 2015).

O desenvolvimento da pesquisa científica, tecnológica e da inovação no mundo apresenta três linhas de orientação, sendo elas: a primeira sequência de desenvolvimento da ciência, nomeada “ciência básica” ou “ciência pura”, é tida como linear e tradicional (Bush, 1945). A “ciência pura” está relacionada aos estudos teóricos no campo da química, física e biologia e tem a pretensão de analisar e realizar descobertas acerca da natureza e dos seus fenômenos, mas não deve se debruçar sobre a pretensão aplicativa, nem na resolução de problemas práticos; a segunda sequência consiste nas “ciências aplicadas”, que irá colocar em prática o conhecimento gerado pelos resultados da “ciência pura” (Bush, 1945); por fim, a terceira sequência trata-se dos produtos que surgem através da inovação, do consumo no mercado e desenvolvimento econômico que Stokes (2005) denomina como uma espécie de combinação entre ciência pura e aplicada, uma ciência estratégica.

A ciência do pós-guerra, coordenada pelos Estados Unidos com a *National Science Foundation* (NSF), desenvolvida por Vannevar Bush, solicitada pelo presidente da república estadunidense Roosevelt e consolidada por seu substituto Truman, fortaleceu a tradição linear e sequencial da pesquisa para o desenvolvimento da ciência (Stokes, 2005). Essa lógica remontou a tradição clássica grega, que concebia a busca pelo entendimento como a fonte principal da razão, onde a aplicação e a tecnologia seriam secundárias (Stokes, 2005).

Diferente da lógica da tradição clássica, o inglês Francis Bacon entre os séculos XVII e XVIII inaugurou a filosofia experimental por meio dos estudos de calor, magnetismo, eletricidade, da física e da química. Através de seus estudos, Bacon instituiu o valor da aplicação do empirismo, do teste, da mensuração, quantificação e reaplicação como um campo próprio da ciência. Dessa forma, toda a abstração deveria ser submetida ao teste e a aplicação (Zaterka; Mocellin, 2022).

Essa doutrina baconiana deu origem ao paradigma da ciência moderna ocidental que prevaleceu até a metade do século XIX, influenciando as universidades norte-americanas e permitindo o favorecimento do progresso industrial no país (Stokes, 2005). Essa doutrina possibilitou grandes avanços nas ciências aplicadas no século XIX, entretanto o pragmatismo das universidades norte-americanas impossibilitou os mesmos avanços nas ciências fundamentais nos EUA, fazendo com que estudantes de nível superior norte-americanos fossem para Alemanha, referência em pesquisa básica, na 2ª metade do século XIX (Stokes, 2005).

Na Alemanha, a pesquisa básica, a aplicada e as tecnologias eram dadas em locais diferentes. Nas universidades prevalecia a pesquisa básica, enquanto a ciência aplicada se desenvolveu mais em instituto de tecnologias. Posteriormente, os Estados Unidos adotaram o modelo alemão, entretanto, devido ao pragmatismo norte-americano, as universidades não ofertaram somente os estudos de ciência básica, mas dividiu também espaço com as ciências aplicadas e o desenvolvimento de tecnologias (Stokes, 2005).

A lógica linear de Vannevar Bush sobre a investigação científica após a Segunda Guerra, garantiu investimentos à ciência básica, ao mesmo tempo que deu autonomia para que os pesquisadores não fossem pressionados pelos interesses do mercado, em especial, pelo bélico. No entanto, se fortaleceu um entendimento de que a ciência não era linear e que muitas vezes as demandas de consumo e industriais poderiam influenciar em novas descobertas na ciência básica, o que Stokes (2005) chamou de “ciência pura estratégica” ou “orientada”, como os experimentos do cientista Pasteur e Thomas Edison que descobriram respectivamente o método de conservação de bebidas lácteas e a criação de um sistema público de iluminação.

O advento da ciência básica com intenções de torná-la aplicada não anularia a busca pela ciência pura, tipificadas por Stokes (2005) em seu quadrante de Pasteur. A ciência pura estratégica deu condições para o surgimento de um novo pacto entre ciência e Estado (Stokes, 2005).

Gibbons et al. (1994), de um modo diferente de Bush (1945) e mais próximo da concepção de produção da ciência de Stokes (2005), definiu a existência de dois modelos de

ciência: o tradicional, que é fundado na produção de conhecimentos disciplinares, e o inovador, pautado na produção de conhecimentos transdisciplinares. O modelo tradicional faz uma distinção entre a ciência pura da ciência aplicada, trabalhando com paradigmas que denotam num consenso provisório entre os pesquisadores da área sobre prioridades e relevância de problemas científicos e políticos para serem pesquisados, mediados ou solucionados dentro de um quadro específico explicativo (Gibbons et al, 1994).

Essa perspectiva possibilita um conforto para os pesquisadores que se limitam a forma institucional, a qual são vinculados e tem seus proventos e financiamentos. Os pesquisadores que buscam seus interesses pessoais de pesquisas, além do institucional, principalmente se esses forem diferentes do quadro paradigmático, convencional e hegemônico das instituições, essa orientação representa uma camisa de força, porquanto os investimentos giram em torno dessa aprovação consensuada fechada entre um grupo homogêneo de pares em conformidade com o paradigma vigente.

Essa lógica implica que, para os pesquisadores manterem vivos os seus reais interesses em projetos de pesquisa, devem associá-los ao que é previsto pela comunidade política e científica dominante para que tenham recursos em seus projetos de pesquisa. Desse modo, os pesquisadores considerados bem-sucedidos ou empreendedores são aqueles que se enquadram nessa lógica conservadora, adotando uma abordagem estratégica, como explica Gibbons et al. (1994). Aqueles que não se encaixam no paradigma hegemônico são considerados incompetentes ou contraproducentes. Os pesquisadores que tentam empreender, mas estão inseridos em instituições que se pautam em uma abordagem estratégica ou conservadora, acabam alargando os limites disciplinares das instituições para encaixar temáticas relevantes para órgãos de financiamento em suas pesquisas (Gibbons et al., 1994).

O modelo de Gibbons et al. (1994) é guiado pela descoberta do conhecimento por meio da resolução de problemas do cotidiano das pessoas e das indústrias, em um ambiente institucional diverso. Ou seja, não apenas nos institutos de pesquisas e academias, mas envolvendo uma gama diversificada de pesquisadores, profissionais e outros atores com o objetivo de resolver o problema definido, tendo como primazia o conhecimento tácito¹, do qual a questão tecnológica se apropria.

¹ Conhecimento tácito é aquele que não está escrito é passado por meio da vivência, do modus operandi, de como fazer. O conhecimento tácito é diferente do codificado, pois esse último é referente a tudo que está registrado e qualquer pessoa pode se apropriar por meio do acesso ao material disponível seja ele escrito, sonoro, visual ou misto. (Gibbons et al., 1994).

Em síntese, os paradigmas de produção científica, segundo a abordagem de Bush (1945), Stokes (2005) e Gibbons et al. (1994), se relacionam com as instituições de forma distintas quando são abordadas no campo na inovação para o desenvolvimento. Nessa ordem, a literatura aponta determinados modelos que analisam a interação dos principais atores institucionais no quadro da inovação e do desenvolvimento econômico como a universidade, a empresa e o governo.

A literatura da área diz que os principais métodos de analisar a relação universidade, empresa e governo são: o triângulo de Sábato e Botana, o Sistema Nacional de Inovação e a Tripla-Hélice (Perucchi; Muller, 2018). O primeiro está relacionado ao protagonismo do governo, onde ele tem o papel de estimular a inovação, a pesquisa e a universidade na criação e a empresa na aplicação, produzindo de forma cooperativa a inovação científica e tecnológica. No modelo do Sistema Nacional de Inovação tem-se que a empresa deve ser o principal empreendedor no campo da inovação científica e tecnológica, pois os pesquisadores não conseguiriam definir com exatidão os reais problemas e necessidades que as empresas e os consumidores apresentam (Perucchi; Muller, 2018). O modelo de Tripla-Hélice identifica a universidade como principal protagonista da inovação, da ciência e da tecnologia, entendendo que dessa forma, os resultados da pesquisa chegariam com mais rapidez ao setor produtivo (Perucchi; Muller, 2018).

No Brasil, é hegemônico o modelo triângulo de Sábato e Botano, pois o Estado dentro de uma lógica desenvolvimentista tem sido o principal condutor, articulador e estimulador da inovação, da ciência e da tecnologia (Perucchi; Muller, 2018), o que corrobora a hipótese de Oliveira (2018) sobre o papel do Estado no Capitalismo ibérico. No entanto, para Torkomian e Garnica (2009) a capacidade inovativa se situa fundamentalmente nas universidades, entretanto, ainda segundo os autores, também é necessário que exista uma logística de transferência e cooperação consistente do conhecimento inovativo produzido para a sociedade e, principalmente, para o mercado. Contudo, dados do MCTI (BRASIL, 2022) indicam que, embora as universidades brasileiras sejam reconhecidas como lócus de criação de novos conhecimentos, elas ainda não têm conseguido converter essa produção científica em inovação de forma consistente, o que reforça a necessidade de mecanismos institucionais de transferência tecnológica.

Se essa comunicação for inconsistente, essa falta pode levar a inutilidade dos conhecimentos científicos e inovativos produzidos em detrimento da sua utilização pelo setor produtivo, como entende Rogers (1995). Os pesquisadores Torkomian e Garnica (2009) registraram que, em 2007, o setor público era responsável por mais de 50% dos investimentos

totais em P&D no Brasil, com aproximadamente 30% desse volume concentrado em universidades federais. Esse padrão de dominância pública manteve-se até o início da década de 2020: os Indicadores Nacionais de CT&I do MCTI (2024) apontam que o setor empresarial superou o setor público no total de investimentos em P&D pela primeira vez desde 2004-2005, com o montante nacional alcançando 1,19% do PIB em 2023, patamar ainda distante da média dos países membros da OCDE (2,7%).

O aumento dos investimentos estatais no campo da ciência, com o orçamento do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) passando de R\$ 5,8 bilhões em 2022 para R\$ 14,6 bilhões em 2024 (BRASIL, 2024c), e da tecnologia no Brasil reforça o caráter desenvolvimentista da política industrial no campo dos serviços e das indústrias nacionais e regionais. O papel protagonista do Estado mostra-se determinante para a efetivação de uma possível Quarta Revolução Industrial no sul global, marcada pelo papel significativo dos avanços tecnológicos do computador e da internet, associados à robótica em um ambiente de grande processamento, circulação e armazenamento de dados e informações sobre a produção industrial e na vida comum dos seres humanos (Moll, 2021).

Existe uma necessidade para a P&D no Brasil que fomenta a inovação, entretanto o risco financeiro sempre é muito grande, por conta da imprecisão se as descobertas advindas desse processo encadearão uma inovação de sucesso no mercado. Por isso, os subsídios estatais são fundamentais, pois esse tem mais condições de arcar com os custos de um empreendimento inovador mal sucedido, reduzindo os riscos, protegendo assim a indústria nacional. Portanto, é importante que junto dos incentivos fiscais a P&D, também seja feita a concessão de crédito reembolsável e financiamento de crédito não reembolsáveis para institutos de pesquisas que elaboram tecnologias junto em parceria com empresas industriais, além de subvenção econômica por meio do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico para transferir recursos líquidos para empresas que desejam incorporar essas tecnologias (Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial [iedi], 2018).

Um processo inovativo bem-sucedido requer atenção em elementos essenciais para obtenção de êxito, como:

- Uma forte política de P&D interna;
- Não perder o vínculo com a produção de pesquisa básica;
- Estabelecer patentes como forma de negociação;
- Vultuosos financiamentos a longo prazo em P&D;

- Os períodos de teste devem ser mais rápidos de que a dos concorrentes;
- Ter disponibilidade para correr riscos;
- Ter uma capacidade imaginativa antecipada do potencial de mercado dos produtos;
- Criar uma relação educativa e de assistência aos usuários e futuros consumidores do produto inovador;
- Articular a P&D com a produção e o marketing por meio de forte empreendedorismo;
- Boas trocas e parcerias com as produções científicas externas (Freeman; Soete, 2008).

A compreensão dos diferentes modelos de interação entre universidade, empresa e governo, bem como o protagonismo estatal que caracteriza o caso brasileiro, conduz necessariamente à análise do arcabouço institucional que sustenta essas relações. Afinal, como argumentam North (1990) e Hodgson (2006), são as instituições formais e informais que determinam os incentivos e as restrições à inovação. A seção seguinte examina, portanto, como a economia institucional oferece instrumentos teóricos para compreender o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil.

2.2 A ECONOMIA INSTITUCIONAL E O DESENVOLVIMENTO DA I4.0 NO BRASIL

Nesse quadro, o desenvolvimento do setor industrial brasileiro em I4.0 demanda um protagonismo estatal estabelecido por meio de políticas industriais corretas em relação as políticas de ciência tecnologia e inovação. Essa mediação será feita à luz da economia institucional. O desenvolvimento produtivo industrial da Indústria 4.0 no Brasil será visto na lógica do desenvolvimentismo que aplica essa categoria às tentativas de progresso da América Latina de forma a alcançar a isonomia relativa aos países do capitalismo central por meio da industrialização (Fonseca, 2015), entendendo é claro as contradições, as implicações e as complexidades que isso pode ocorrer num capitalismo em crise global (Bin, 2020). Entretanto, a forma capitalista continua estabelecendo as relações que conduzem ao desenvolvimento produtivo e industrial garantindo maior poder econômico para a nação que se insere de forma competitiva nesse domínio.

A Indústria 4.0 está no centro dessa disputa, onde a produção de ciência, tecnologia e inovação permeia esse processo no que tem sido chamada de Quarta Revolução Industrial. Para

tanto, é necessário entender como foi o processo de desenvolvimento da ciência e tecnologia na era moderna. A ciência e a tecnologia estão imbricadas no processo histórico das grandes revoluções industriais e tecno-científicas, de forma que estejam situadas no contexto histórico e social nos períodos de produção da ciência, da tecnologia e das inovações.

A economia institucional não tem o objetivo de suprimir outros modelos teóricos da economia, porém, antes de tudo, defende-se que a economia institucional seja o único caminho para se compreender um modelo de desenvolvimento econômico (Hamilton, 2017). A economia institucional tem o desafio de explicar a organização da sociedade industrial moderna.

Por vezes, a indústria é vista somente pelo lado negativo, mas esquece-se do bem-estar que ela proporciona. A economia institucional explica os motivos das desigualdades em relação ao bem-estar desenvolvido pela indústria (Hamilton, 2017). A importância de se ter uma teoria geral para economia, tendo a economia institucional como centro dessa hipótese, deve-se às limitações da economia, do valor e a variedade de campos em que se especializou a disciplina de Ciências Econômicas.

As Ciências Econômicas têm perdido a sua especificidade, transformando-se em qualquer coisa, perdendo assim, sua razão de ser (Hamilton, 2017). O controle se torna a máxima quando se fala em teoria geral ou sobre uma teoria institucional que unificaria essas especificidades, relacionando as finanças do mundo moderno. Ela deve ter pertinência com os aspectos mutáveis da vida e não deve ser vista como algo imutável, caso seja considerado ponto de vista do controle (Hamilton, 2017). Nesse ponto, o apelo é para que a teoria econômica seja associada às instituições. As modificações que surgem nos arranjos econômicos para suprir às necessidades, estão no campo do controle (Hamilton, 2017):

Um controle de aspectos específicos da vida econômica exige conhecimento de instituições específicas [...] um controle do desenvolvimento da sociedade industrial depende do conhecimento do conjunto de convenções que a compõe (Hamilton, 2017, p. 59).

A teoria econômica não pode ser estática igual a teoria do valor que somente muda as quantidades, mas as relações permanecem as mesmas. A teoria econômica deve ser dinâmica, como afirma Hamilton (2017, p. 60-61): “Concorrência, propriedade, estrutura de preços, sistemas de remuneração e as instituições recusam-se a manter um conteúdo definido [...] As mudanças que os processos revelam são meramente mudanças nas ações humanas”.

Mudanças institucionais são requeridas, pois estamos diante de um cenário de Quarta Revolução Industrial, liderada pela fusão de um conjunto de tecnologias disruptivas baseadas

em plataformas digitais ligando o mundo físico, biológico e virtual, que insere novas necessidades humanas, novas interações com o mundo, nova percepção, novas direções das ações humanas.

Por isso, um olhar institucional que capte essas novas interações da I4.0 no setor industrial e produtivo brasileiro é fundamental, pois as instituições mudam quando as necessidades humanas estão orientadas para novas ações (Hamilton, 2017).

2.2.1 As Instituições

A instituição está relacionada com o hábito e aceitação geral, onde uma organização coletiva controla ações individuais. Elas são pactos coletivos que mudam dependendo da sociedade e das regras que essas sociedades consideram em sua convivência como a mais aceitáveis (Neale, 2017). As instituições limitam e apontam possibilidades dentro do aceitável e do objetivo institucional proposto, logo não existe uma economia geral e sim uma economia institucional que varia conforme o jogo institucional que se joga em cada sociedade, como afirma Neale (2017).

Entendendo essa definição, a I4.0 estabelece novas relações entre o setor produtivo, o mercado e os consumidores devido a velocidade que os sistemas ciberfísicos podem oferecer na comunicação e, portanto, na qualidade e mudança dos produtos, dos consumidores e do setor produtivo. O que interfere diretamente no jogo institucional e nas relações estabelecidas por elas.

A instituição pode ser caracterizada a partir de três pressupostos, Segundo Neale (2017): há várias pessoas praticando; existe um conjunto de regras que garantem a repetição; existe um entendimento comum da população local que os convence da prática e da repetição. O senso comum ajuda no discernimento do objetivo de cada instituição, pois não basta apenas conhecer as regras, é necessário que se conheça o objetivo (Neale, 2017). A instituição é uma construção mental, por isso não se pode observar a instituição como um todo e sim como as pessoas respondem as ações nessa forma (Neale, 2017).

Considerando essas definições, a interação do homem com a inteligência artificial demanda um novo padrão ético institucional que ainda necessitará ser desenvolvido no decorrer da história. A relação da sociedade com as tecnologias 4.0 resultarão, portanto, numa nova institucionalidade gestada no contexto da Quarta Revolução Industrial. Essas implicações incidiram sobre as instituições dos países subdesenvolvidos de forma ainda mais complexa,

por causa das desigualdades econômicas e sociais da região. Um dos caminhos possíveis para esses países deve estar centrado no aumento da produtividade por meio de uma política industrial que fomente a I4.0. Esses desafios devem estar no debate atual da economia institucional de forma incisiva.

A estrutura social estabelece variadas instituições que podem ser definidas pelo senso comum ou visão nativa, assim como o conjunto de diversas situações sociais organizam uma determinada estrutura ou uma determinada ordem. Identifica-se uma instituição por meio das regras que estabelecem as atividades que ela executa, da regularidade e das determinações que os indivíduos e os grupos comuns as identificam e as categorizam (Neale, 2017).

As Instituições não são genuinamente contínuas, pois elas estão interligadas às situações. Um processo contínuo para Neale (2017) seria a nutrição humana, embora a forma dependa da situação. A visão nativa é importante para estruturar as instituições, mesmo que ela não determine os procedimentos internos dessas instituições, mas a influência direta deve ser considerada, pois ela é responsável por criar uma determinada imagem e legitimação do que está sendo estabelecido (Neale, 2017). A visão nativa é capaz de influenciar mercados, igreja, governos etc.

As Atividades Institucionais são governadas por regras e não por motivações. A motivação garante o engajamento, mas o *modus operandi* depende das regras institucionais impostas. O indivíduo poderá até tirar proveito próprio dentro das relações estabelecidas entre ele e as instituições, mas sem desconsiderar as regras das estruturas institucionais e a missão que a instituição objetiva cumprir (Neale, 2017). Na análise institucional a motivação é menos importante do que as estruturas institucionais onde as diversas motivações operam. Nas relações entre instituições de uma sociedade há sempre a uma hierarquia de dinamicidade e movimento (Neale, 2017). Cada sociedade deve expressar como melhor iremos descrevê-la. Existem variadas análises que tem um cunho institucionalista, mas que não utilizam esse termo.

Neale (2017) afirma que a instituição muda para atender as novas tecnologias, aprendizados e mudanças culturais. Por exemplo, a forma de cortejo mudou com a introdução do automóvel, como a moralidade mudou com a existência de contraceptivos eficazes, e como no atual momento, a realidade das tecnologias 4.0 estão requerendo novas interpretações e relações sociais. Embora haja contato com as experiências culturais estrangeiras de forma impositiva ou discricionária, os modelos impostos ou copiados não serão exatamente iguais, pois carregaram nuances específicos como o clima, as organizações originárias e sua forma de percepção da nova cultura, problemas históricos diferentes, contextos diferentes, etc. (Neale,

2017). Com isso, podemos perceber como o desenvolvimento da I4.0 pode afetar todas as instituições mudando regras e as relações estabelecidas por elas.

2.3 O DESENVOLVIMENTISMO E O NOVO DESENVOLVIMENTISMO PARA O PROGRESSO TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL DA AMÉRICA LATINA

A importância estatal para empreendimentos latino-americanos, sempre foi uma característica da região que, desde o tempo de colonização, contou com forte centralismo estatal para o desenvolvimento econômico. Porém essa inovação permitida pelo monopólio das grandes navegações, na era da colonização, que garantiu um desenvolvimento para Espanha e Portugal, ocorreu detrimento dos países latino-americanos (Oliveira, 2018).

Posteriormente, no século XX, as diretrizes cepalinas em suas fases deram o sentido para o desenvolvimento regional, mas tanto no tempo da colonização até o momento no qual a região latino-americana se dividiu em vários Estados independentes, estes novos países, constaram com o protagonismo e a centralidade do Estado para o desenvolvimento socioeconômico (Oliveira, 2018). O conceito de desenvolvimentismo está relacionado ao protagonismo do Estado dos países latino-americanos, entre as décadas de 1930 e 1980, no desenvolvimento do setor industrial, agropecuário e de serviços na região latino-americana. Um parque industrial forte e tecnológico seria fundamental para Herrera (2015), superando o subdesenvolvimento da região.

A definição de desenvolvimentismo, segundo Fonseca (2015), diz respeito a um conceito polissêmico, o qual teve um alargamento da sua compreensão, devido a sua tendência plástica, no contexto da América Latina. O autor pretende delimitar o conceito de desenvolvimentismo, lançando seus atributos principais, retomando o sentido de a partir da industrialização por substituição de importação (Fonseca, 2015; Feijó, 2023). A atualização do desenvolvimentismo nos países sul-americanos necessita que essa abordagem seja referenciada, já que esse conceito foi desenvolvido no século XX. Ele deve se adequar para a ideia de que o Estado desenvolvimentista é voltado para a superação do subdesenvolvimento.

O desenvolvimentismo pode estar no campo da ideologia, da teoria ou nas políticas econômicas do Estado. Fonseca (2015) afirma que Furtado considerava o desenvolvimentismo como uma espécie de conservadorismo, trazendo a lógica do desenvolvimento industrial europeu para a América. Então, Furtado defendia uma lógica de nacionalismo reformista no que concerne ao desenvolvimento.

Os pontos principais seriam a industrialização integral como forma de erradicação da pobreza e do subdesenvolvimento brasileiro. Essa industrialização teria que ser realizada pelo Estado por meio de investimentos diretos, além de planejamento e organização, pois o mercado não poderia dar espontaneamente essas condições. Fonseca (2015), ao retomar a contribuição de Echevarría, destaca que o desenvolvimentismo ocorria por meio de sociedade política, ou seja, grupos organizados com influência no Estado com intencionalidade desenvolvimentista, para vê-la materializada enquanto política econômica.

Johnson (1982) entende o desenvolvimentismo como esforços do Estado para alcançar o desenvolvimento econômico. O autor apresenta alguns pontos que caracterizam essa visão: organização de uma burocracia estatal para destacar áreas que devem ser priorizadas; programas de estímulo para o desenvolvimento; criação de Instituições Financeiras para financiamento dessa finalidade; e um órgão que centraliza essas ações, como foi o Ministério da Indústria no Japão.

Herrlein Jr. (2012), sintetizando as ideias de Wade (1990), entende-se que o desenvolvimentismo como uma forma de desenvolvimento do setor produtivo estabelecido por um projeto nacional, que ocorre através de uma maior agregação de valor na produção do país por meio de acúmulo de capital interno com seletividade setorial e tecnologia de ponta.

Para isso é necessária a promoção do progresso científico e tecnológico do país mediada pelo Estado, colocando-as em relação com o setor produtivo. Também é preciso investir em empresas nacionais que sejam competitivas internacionalmente e reforçar a regulação do comércio exterior e das relações financeiras externas. Com essas medidas, deve-se criar a garantia da estabilidade macroeconômica em seu sentido mais amplo.

Evans (1992) descreve tipologias que distinguem modelos ideais entre Estados Predatórios e Estados Desenvolvimentista, citando o Brasil e a Índia como casos intermediários que tiveram um intervencionismo forte para a industrialização, porém apresentaram uma gestão pública ineficiente. Para ele o desenvolvimentismo se dá pelo intervencionismo deliberado do Estado na industrialização, pela burocracia forte e meritocrática capaz de ocasionar mudanças e uma boa articulação entre os entes privados e públicos por meio de eficientes canais institucionais, negociando metas e políticas.

Na perspectiva de Chang (1999) o desenvolvimentismo se dá quando o Estado opera ações especiais, como a coordenação entre entes públicos e privados viabilizando os investimentos e financiamentos. Também considera importante um desenvolvimento nacional com visão de futuro, consolidando-a entre os diversos atores da sociedade, além do estabelecimento de instituições que viabilizem o constante desenvolvimento. Para isso é

necessária uma boa administração de conflitos, pois nesse processo é inevitável a existência perdedores e ganhadores, mesmo que a finalidade seja alcançada.

Amsden (2001) destaca-se por ser uma das poucas autoras a vincular o bom desempenho industrial a uma política de contrapartidas e distribuição de resultados. Sob essa ótica pragmática, o desenvolvimentismo vai muito além das correntes de pensamento econômico mapeadas historicamente por Bielschowsky (1988), materializando-se na forte intervenção institucional do Estado. Para Amsden (2001), essa dinâmica está situada no controle estratégico dos mercados, com abertura e fechamento da economia conforme a conveniência do projeto nacional, na fundação e atuação de bancos públicos voltados exclusivamente ao financiamento do desenvolvimento e no fomento à consolidação de empresas nacionais.

Bresser-Pereira (2006; 2010) aponta o desenvolvimentismo, ou nacional desenvolvimentismo, como uma política econômica estatal deliberada em fortalecer a indústria nacional, por meio de protecionismo, um paradigma nacionalista que fortalece a união dos entes da sociedade, envolvendo trabalhadores, empresários, classe média e burocracia estatal meritocrática. Também aponta a política econômica de substituição de importação a partir da indústria nacional, a operacionalização de uma poupança forçada para investimentos no setor industrial e a ambiguidade com relação ao déficit público, tolerância a inflação.

Fonseca (2015) aponta que os autores que trabalharam o conceito de desenvolvimentismo têm pontos em comum que o desenvolvimento tanto ideologicamente, quanto no âmbito da política econômica, está circunscrito ao *modus operandi* capitalista. Para a concretização do desenvolvimentismo esses autores questionaram cabalmente o sistema capitalista, nos quais afirmaram que seria necessário formar uma base sólida social em torno desse propósito, embora os segmentos variem entre um e outro. O ponto que toca todas as teses é de que é necessário aumentar a produção e a produtividade (Fonseca, 2015).

"O paradigma econômico do desenvolvimento e, posteriormente, do desenvolvimentismo estão associados a circulação e produção de excedente, conectadas com a lógica de Adam Smith, no século XVIII, em "Riqueza das Nações" (Smith, 2023), que delineou o espírito capitalista. Na América Latina não foi possível um desenvolvimento capitalista igual ao da Europa, sendo segmentado, problemático ou até mesmo inexistente, trazendo a essa região um subdesenvolvimento na lógica capitalista (Fonseca, 2015).

O desenvolvimentismo é um esforço de "modernismo conservador", ou seja, esperava-se que a América Latina alcançasse um desenvolvimento similar aos países europeus, pois entendia-se que essa mudança seria natural após a descolonização das Américas. Foram tidos

como modelos a França, a Inglaterra e posteriormente os Estados Unidos e tinha-se o consenso que dentro da ordem capitalista, com o tempo, a América Latina se desenvolveria conforme os países citados. Com isso, os problemas existentes nos países da América Latina passaram a ser referidos na perspectiva do atraso (Fonseca, 2015).

Fonseca (2015) critica o desenvolvimentismo, pois esse paradigma de modelo de desenvolvimento passa a perpassar todos os ramos da sociedade como a educação, cultura, saúde pública, leis sociais e meio ambiente, subordinando toda ação estatal a esse fim. Essa prioridade acaba sobrepondo outros temas importantes como, por exemplo, a estabilidade macroeconômica e defesa do meio ambiente para os ecologistas.

Furtado (1978) alerta que o desenvolvimentismo não pode estar pautado somente na produtividade, mas também na criação de relações sociais que possibilitem a melhoria dos indicadores sociais. Essa dualidade do desenvolvimento entre a melhoria da produtividade e também a contemplação da justiça social, soberania nacional e equidade, geram uma série de ambiguidades sobre essa questão (Furtado, 1978).

A própria fundação do desenvolvimentismo, segundo a ótica do marxismo, funda-se na exploração do trabalho, sendo uma orientação a própria ideologia, logo haveria uma contradição fundamental entre a razão instrumental e os valores propostos de emancipação social da América Latina. Furtado (1978) indica que na ótica marxista o desenvolvimentismo pode ser uma justificção para a expansão do capital, pois a distribuição dos resultados capitalistas não seria de forma equitativa com os trabalhadores.

No Brasil, uma aliança entre os setores agrários internos e os setores emergentes como empresariado industrial, classes médias e trabalhadores urbanos, resultou uma vitória sobre o setor agrário voltado para exportação em 1930 e 1932. Essa vitória sustentou um projeto desenvolvimentista industrial de substituição de importações no país mais eficiente no que outros países da América Latina, como a Argentina (Fonseca, 2015, Feijó, 2023).

O conceito de desenvolvimentismo dividiu-se em outros que foram menos utilizados, como o Nacional Desenvolvimentismo e o Desenvolvimentismo Dependente-Associado. O primeiro está relacionado ao próprio capital estatal, por meio de poupança forçada, para próprio investimento em produtos industriais de baixo custo (bens de massa), a fim de atingir uma grande parcela populacional e posteriormente investir em tecnologias para produtos intermediários (Fonseca, 2015). O Nacional Desenvolvimentismo representa um acordo entre empresários industriais, burocracias, classe médias e trabalhadores urbanos, tendo um sentido mais populista. O governo de Vargas, no Brasil, teve essa característica (Fonseca, 2015).

O Desenvolvimentismo Dependente-Associado foi uma característica do governo Kubitscheck, no Brasil, pois este se desenvolve a partir de capital estrangeiro por meio de investimentos externos diretos. Ele está voltado para produtos mais sofisticados (bens duráveis de consumo) que necessitam de mais tecnologia e equipamentos industriais mais robustos. Essa aliança envolve setores mais restritos da sociedade, junto com a dependência de investimentos externos diretos (Fonseca, 2015).

O desenvolvimentismo se orientou em torno da intervenção estatal, da industrialização, da propriedade privada, do capital externo e do desenvolvimento capitalista. Outros governos, como do presidente João Goulart, inseriram novos atributos como a distribuição de renda e a reforma agrária no Brasil. Outros se distanciaram, formando outros conceitos como o desenvolvimentismo socialista em Cuba (Fonseca, 2015).

Outros atributos adicionais que surgiram na década de 1980, foram a preservação ambiental e o compromisso com a democracia. Anteriormente, a preservação ambiental e a democracia não foram preocupações dos Estados desenvolvimentistas, ganhando essa configuração apenas no início do século XXI, por esse motivo houve governos desenvolvimentistas autoritários e sem compromisso com a preservação ambiental.

O novo desenvolvimentismo no debate brasileiro se deu pelos estudiosos Bresser-Pereira (2006, 2010) e Sicsú, Paula e Michel (2005). Segundo eles, o Estado deve ser forte para manter um mercado competitivo, mas regulado, de forma que proteja os pequenos e médios empresários da concorrência desleal. Também deve se utilizar de políticas públicas para reduzir as desigualdades sociais e econômicas, por meio de políticas tributárias progressivas, políticas industriais ativas, políticas econômicas expansivas e defensivas, que são destinadas a redução da taxa de desemprego e a proteção da economia do país de variações cambiais (Sicsú; Paula; Michel, 2005).

O novo desenvolvimentismo não se distancia das características principais do velho desenvolvimentismo, mas tenta atualizar essa corrente para a nova realidade e conjuntura política global em que se insere o Brasil. Nessa perspectiva, o Estado deve ser reconstruído devido os males ocasionados pelo neoliberalismo, onde ele deve aprimorar seu sistema regulatório, administrativo e político sem deixar de considerar uma realidade financeiramente sólida (Sicsú; Paula; Michel, 2005). Para Bresser-Pereira (2006, 2010) o termo novo estaria associado a questão fiscal, pois o velho não tinha essa preocupação em seu núcleo principal.

O desenvolvimentismo esteve arraigado a história latino-americana. A exportação de bens primários não concorre com o desenvolvimentismo, desde não prejudique a produção industrial. Entender esse conceito é atual e importante para entender as formas de

desenvolvimento no período histórico latino, bem como lançar perspectivas futuras (Fonseca, 2015).

O novo desenvolvimentismo sugere uma estratégia nacional que estabeleça instrumentos de gestão pública possibilitadores do progresso técnico, bem como a inserção de novas técnicas de produção e mecanismos nacionais de financiamentos. Além de políticas econômicas que diminuam as incertezas do mundo financeiramente globalizado e promovam o desenvolvimento de instituições específicas adequadas ao desenvolvimento (Sicsú; Paula; Michel, 2005).

A associação de políticas fiscais, monetárias e cambial são essenciais para existir uma política macroeconômica de caráter desenvolvimentista novo que promova crescimento econômico. Esse novo modelo deve se preocupar com o financiamento correto do setor industrial e produtivo deve promover o progresso técnico, aumentando a qualidade dos produtos, a produtividade e a eficiência, além de apresentar um protecionismo seletivo. Outro fator importante que deve ser considerado é que não existe novo desenvolvimentismo com altas taxas de juros e sem o aumento de gastos governamental (Sicsú; Paula; Michel, 2005).

Uma política novo desenvolvimentista apresenta característica de longo prazo caráter e deve dispor de uma coordenada associação de políticas educacionais, políticas industriais e políticas de ciência, tecnologia e inovação, associadas a políticas macroeconômicas consistentes (Sicsú; Paula; Michel, 2005). Por fim, de forma nenhuma o novo desenvolvimentismo deve inibir a competição, pois ela é importante para o crescimento econômico e por sua vez para o progresso técnico, que também irá aprimorar a competição (Sicsú; Paula; Michel, 2005).

2.4 O TRIÂNGULO DE SÁBATO E BOTANA

A América Latina precisa desenvolver uma cultura que possibilite o seu desenvolvimento científico e tecnológico para que seus países possam ter de fato uma soberania nacional e um pleno desenvolvimento com integração regional (Sábato; Botana, 2011). Para tanto, é necessário estabelecer uma infraestrutura científica e tecnológica, como já foi feito nos países considerados desenvolvidos (Sábato; Botana, 2011). A junção entre uma apropriada infraestrutura científica e tecnológica e a inovação são fundamentais para alavancar o desenvolvimento da região. Para isso Sábato e Botana (2011) afirmam que a ciência e tecnologia deve estar em sintonia com a esfera produtiva, onde a inovação seria esse elo.

A inovação é um fenômeno multideterminado, que depende da cultura, do Estado, da infraestrutura científica e tecnológica, da sociabilidade, do marketing e da agressividade empresarial local. Quando colocados em harmonia e envoltos de um propósito comum, surgem processos inovadores, capazes de trazer desenvolvimento para uma região (Sábato; Botana, 2011).

A inovação traz consigo a implicação de duas naturezas, a abstrata e a material, que devem estar em permanente ligação. Não basta somente ter uma infraestrutura de ciência e tecnologia apropriada, também é preciso ter uma cultura de inovação capazes de gerar mentes inovadoras que, canalizadas no setor produtivo, possibilitarão o crescimento econômico (Sábato; Botana, 2011). Um grande exemplo foi o caso da Grã-Bretanha que, mesmo tendo um grande aparato de ciência e tecnologia e uma cultura de pesquisa sofisticada, não conseguiu produzir tantas soluções inovadoras como o Japão, que tinha um bom sistema de investigação e de pesquisa, mas se considerado inferior ao Grã-Bretanha (Sábato; Botana, 2011).

O espírito competitivo e as condições adversas, associados a um propósito desenharam um ótimo ambiente capaz de gerar soluções inovadoras. Portanto, a inovação também depende de uma força de vontade arrojada e persistente que, se associada a infraestrutura científica e tecnológica, produz um campo fértil inovador capaz de alavancar o sistema produtivo da América Latina (Sábato; Botana, 2011).

Algumas das principais fontes impulsionadoras da inovação são: a guerra real ou potencial; as necessidades do mercado; a substituição de importações; a escassez de matérias-primas; a maior ou menor disponibilidade de mão-de-obra qualificada; e a otimização do investimento (Sábato; Botana, 2011, p. 6).

A introdução da ciência e da tecnologia na pauta do desenvolvimento foi uma ferramenta importante no processo de inovação. O ambiente inovador e, por conseguinte, o desenvolvimento, necessitam do protagonismo de três instituições importantes que juntas formam um triângulo, onde cada uma ocupa uma posição em seu próprio vértice, sendo elas: “o governo, a estrutura-produtiva e a infraestrutura científica e tecnológica” (Sábato; Botana, 2011, p. 6). Ao aprender com a história e ver como foi a relação entre o governo, o setor produtivo e a sua infraestrutura científica e tecnológica, é possível observar como a vontade política de governos em inovar, estimulados pela competição por meio de guerras, foi fundamental para a liderança dos países que se encontram desenvolvidos.

A Guerra Civil norte-americana, depois a Primeira e Segunda Guerra Mundial, foram aprendizados importantes para toda a humanidade em termos da necessidade dos direitos humanos. Mas, por outro lado, a necessidade da vitória estimulou o governo a investir em áreas

da ciência, na tecnologia e na capacidade produtiva, gerando uma articulação desses três setores que enxergou o que precisava de investimento e inovação. Isso provou um tipo de desenvolvimento em relação as demais regiões globais, onde cada vértice do triângulo possuiu um centro de convergência de múltiplas instituições, unidades de decisão e produção.

Por isso, podemos afirmar que as relações que compõem o triângulo também possuem múltiplas dimensões que, conseqüentemente, podem selecionar aquelas que são mais importantes para especificar o ponto de vista adotado. Eles podem ser identificados pelas relações estabelecidas entre os três vértices do triângulo, que identificaremos como intra-relações, e pelas relações estabelecidas entre o triângulo formado, ou entre cada um dos vértices, com o contorno externo do espaço em que estão situados, que chamaremos de extra-relações (Sábato; Botana, 2011, p. 7).

Sábato e Botana (2011) afirmam que cada intra-relação devem ser interrelacionadas e, posteriormente, estabelecidas em extra-relações. No que diz respeito a intra-relação o governo deve ter o potencial de ser um eficiente investidor e ser capaz de montar uma infraestrutura científica e tecnológica. O vértice de ciência e tecnologia não deve ser composto apenas de uma ótima infraestrutura, esta deve possuir pesquisadores com alta capacidade criativa que terão propostas de pesquisa literalmente criativas (Sábato; Botana, 2011).

O vértice relacionado ao setor produtivo, deve ter a sagacidade de reconhecer e explorar consideravelmente um produto inovador. A interrelação pode ser horizontal e vertical, considerando o vértice do governo como o ápice do triângulo que irá estabelecer relações verticais com o setor produtivo e o setor científico tecnológico, com o canal de fluxo de demandas interrelacionadas.

A interrelação horizontal se dará entre o setor produtivo e o setor científico e tecnológico. Nessas interrelações principalmente na horizontal deve estabelecer um rico e contínuo canal de comunicação de objetivos e suprimento de necessidades e demandas mútuas evitando o que Sábato e Botana (2011, p. 9) chamam de “diálogo de surdos”, como acontece na América Latina com a quase que intransponível barreira entre setor científico e tecnológico e o setor produtivo.

A extra-relação diz respeito a interlocução do triângulo aqui proposto de uma específica região que interage com o triângulo de outras nações, pois esses triângulos não estão isolados em cada país, eles interagem entre si. A extra-relação pode ser prejudicial quando um dos triângulos não tem seus vértices funcionando de forma eficiente. É o que, por exemplo, acontece na América Latina, onde a intra-relação e interrelação dos vértices não funcionam, então cada vértice age de forma independente e interage com os triângulos dos países

desenvolvidos que funcionam bem, virando uma relação desigual desfavorável aos países em desenvolvimento (Sábato; Botana, 2011). Essa relação desfavorável resulta, por exemplo, na fuga de cérebros dos países da América Latina para países que tem um intra e um inter-relacionamento eficaz entre os vértices do seu triângulo (Sábato; Botana, 2011).

A estruturação desse triângulo seria positivo em países da Latinoamérica, tendo em vista que muitos deles tem capital no setor produtivo por meio de empresas públicas ou compõe o setor de infraestrutura científico tecnológico (Sábato; Botana, 2011). Essa condição traz ao setor público uma possibilidade imensa de real inovação aos países latino-americanos, estando a frente do processo de modernização desses países.

2.5 A HÉLICE TRÍPLICE OU TRIPLA HÉLICE

É um modelo de inovação que teve sua origem em Boston (EUA), que depois ficou conhecido internacionalmente. Ele procura suprir as lacunas entre governo, indústrias e universidades considerando os pontos fortes e fracos locais (Etzkowitz; Zhou, 2017). Este modelo considera que as universidades têm um papel fundamental para o desenvolvimento socioeconômico. Se antes ela tinha um papel mais secundário, neste século, com a sociedade da informação, as universidades devem ter um papel prioritário, a partir das pesquisas aplicadas que devem ser transformadas em ações práticas pelos atores do processo que tenham a propriedade intelectual (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Os pesquisadores devem participar ativamente no processo de inovação com apoio do governo e do setor produtivo e comercial (Etzkowitz; Zhou, 2017). A Tripla-Hélice coloca a universidade num papel de protagonismo empreendedor, numa lógica mercantil para o desenvolvimento socioeconômico local da indústria e empresas (Etzkowitz; Zhou, 2017). Esta lógica pode ser muito questionada por pesquisadores, professores e estudantes que tem uma visão de empreendedorismo para os interesses da coletividade ou dos direitos sociais e não para os interesses individuais do mercado. Mas o fato é que também não houve desenvolvimento capitalista e social, sem o desenvolvimento de mercados, ou pelo menos, até hoje não houve em sua materialidade.

Embora o foco da Tripla Hélice seja o empreendedorismo, voltado para a inovação, ou seja, para o mercado, Etzkowitz e Zhou (2017) afirmam que o modelo de desenvolvimento guiado pelas universidades é fundamental, pois elas podem estimular a criatividade, capacidade crítica, preservar e renovar o patrimônio cultural. A relação tríplice pode estabelecer uma

mediação equilibrada de desenvolvimento ao invés de uma relação dual, como indústria e governo por exemplo (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Um caso bem interessante a ser citado que envolve o modelo de Tripla-Hélice é a fundação da empresa Google. A Universidade de Stanford nos Estados Unidos, desde o final do século XIX, começou a interagir com as indústrias e passou a efetivar pesquisas no sentido de suprir as suas necessidades e as do governo (Etzkowitz; Zhou, 2017). A Universidade de Stanford assumiu um protagonismo por meio de pesquisas que passaram a ser financiadas pelo governo e pela indústria em prol do desenvolvimento local, num contexto de relação porosa entre elas (Etzkowitz; Zhou, 2017).

Na segunda metade do século XX surgiu o Vale do Silício nos Estados Unidos, com vários projetos inovadores que impulsionou a economia Norte-Americana, ajudando em sua liderança mundial. Um desses projetos foi o projeto de Pesquisa Avançada de Defesa que financiou pesquisas na área, onde dois estudantes do Departamento de Ciências da Computação da Stanford, elaboraram o projeto da Google (Etzkowitz; Zhou, 2017).

2.6 DA TRIPLA À SÊXTUPLA HÉLICE

Embora o modelo da Tripla Hélice tenha representado um avanço ao incorporar a universidade como ator central da inovação, três hélices eram insuficientes para capturar a complexidade dos ecossistemas contemporâneos. O primeiro desdobramento foi a Hélice Quádrupla, proposta por Carayannis e Campbell (2009), que adicionou a sociedade civil e a cultura como quarta hélice. Segundo os autores, a inovação não é apenas produto da interação entre governo, universidade e empresa, mas também depende da mídia, dos valores culturais e da participação democrática da população na definição das políticas de inovação (Carayannis; Campbell, 2009).

Na sequência, Carayannis, Barth e Campbell (2012) propuseram a Hélice Quíntupla, incorporando o meio ambiente natural como quinta hélice. O argumento central é que os desafios socioecológicos, como as mudanças climáticas e a escassez de recursos, não são apenas restrições externas ao sistema de inovação, mas também motores que estimulam novas trajetórias tecnológicas. Dessa forma, o modelo integra cinco subsistemas: educação, economia, política, sociedade civil e meio ambiente, em uma perspectiva transdisciplinar voltada ao desenvolvimento sustentável (Carayannis; Barth; Campbell, 2012).

A literatura internacional também registra propostas de modelos com mais de cinco hélices. López-Rubio, Roig-Tierno e Mas-Tur (2021) propuseram uma hélice sêxtupla para

sistemas nacionais de empreendedorismo, incorporando o capital social como sexto ator. Embora essa contribuição amplie o alcance analítico dos modelos de hélice, o enfoque permanece em economias avançadas, sem contemplar as especificidades institucionais dos sistemas regionais de inovação latino-americanos, nas quais fomento e regulação operam por lógicas distintas (López-Rubio; Roig-Tierno; Mas-Tur, 2021).

Contudo, nenhum desses modelos abordou com granularidade suficiente a realidade institucional latino-americana, na qual o financiamento público e a regulação operam por meio de agências e órgãos com lógicas distintas. Nessa direção, Labiak Junior (2012) propôs o modelo da Hélice Sêxtupla, denominação que coincide com propostas internacionais recentes (López-Rubio; Roig-Tierno; Mas-Tur, 2021), adotada nesta tese por sua adequação ao contexto institucional regional brasileiro, principalmente pelo tratamento do ator público como duas hélices distintas (regulatória e de fomento) e pela inclusão dos habitats de inovação como mediadores regionais autônomos, que expande o arranjo institucional para seis categorias de atores regionais: (i) públicos, como prefeituras e secretarias municipais e estaduais; (ii) científico-tecnológicos, representados por universidades, faculdades e institutos federais; (iii) empresariais; (iv) institucionais, como Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE), federações e agências de desenvolvimento; (v) habitats de inovação, incluindo parques tecnológicos, incubadoras e aceleradoras; e (vi) de fomento, tanto público quanto privado (Labiak Junior, 2012).

A principal contribuição desse modelo reside na separação explícita entre o papel do poder público como regulador e o papel das agências de fomento como financiadoras. Na Tripla Hélice, ambas as funções são atribuídas genericamente ao “governo”. Labiak Junior (2012) argumenta que essa agregação obscurece tensões críticas, pois o ator que regula não é necessariamente o mesmo que financia, e as lógicas de cada função são distintas. Ao desagregar esses papéis, o modelo permite uma análise mais precisa dos gargalos institucionais que afetam o financiamento público à inovação (Labiak Junior, 2012).

Além disso, o modelo reconhece os habitats de inovação: parques tecnológicos, incubadoras e aceleradoras, como atores autônomos, e não meros espaços físicos vinculados às universidades (Labiak Junior, 2012). Esses ambientes cumprem função de mediação entre os demais atores, articulando pesquisa, financiamento e mercado em escala regional. Da mesma forma, os atores institucionais, como SEBRAE, federações industriais e agências de desenvolvimento, exercem papel de coordenação e capacitação que não se reduz à ação governamental ou empresarial (Figueiredo et al., 2022).

Figueiredo et al. (2022), ao aplicarem o modelo ao Sistema Regional de Inovação de Curitiba, identificaram seis categorias de atores: governamentais, de fomento, empresariais, institucionais, de habitats de inovação e de conhecimento científico. Essa aplicação empírica demonstrou que a interação e cooperação entre esses seis tipos de atores constituem condição para o desenvolvimento regional baseado na inovação (Labiak Junior et al., 2016, p. 127).

Essa perspectiva é particularmente relevante para o contexto brasileiro. O financiamento público à Indústria 4.0 envolve múltiplas agências: BNDES, FINEP e FAPESP, que operam com lógicas distintas, enquanto a regulação cabe a ministérios e entidades como a ABDI. Ao tratar esses atores como um bloco único, modelos anteriores dificultam a identificação dos gargalos específicos de cada função. A Hélice Sêxtupla oferece, assim, uma lente analítica mais adequada para examinar as tensões entre financiamento, regulação e execução no ecossistema nacional de inovação (Labiak Junior, 2012).

2.7 SISTEMA NACIONAL DE INOVAÇÃO

Santos (2017) define um Sistema Nacional de Inovação (SNI) como um conjunto de ações catalisadas e direcionadas em prol de uma política de inovação tendo como base um aparato jurídico-legal e institucional para seu desenvolvimento. O SNI, assim como o triângulo de Sábato e Botana e a Tripla Hélice, tem como base a articulação do governo, instituições educacionais e as empresas com o fim de produzir inovação, interagindo com a cultura e com a realidade política, social e econômica (Santos, 2017).

No entanto, o Brasil não conseguiu montar um SNI devido ao conflito existente entre o setor agrário e o industrial na metade século XX, que se somavam as reivindicações por direitos sociais e melhor renda salarial dos trabalhadores, segundo Santos (2017). As demandas exigentes fizeram com que os governos brasileiros buscassem alternativas para o crescimento econômico sem que passasse por montar uma sólida estrutura de pesquisa, fazendo com que se esgotassem as possibilidades tanto de crescimento, quanto no campo da inovação (Santos, 2017). Em contrapartida, os Estados Unidos pautaram o seu desenvolvimento na segunda metade do século XX na construção uma infraestrutura de ciência e tecnologia bem articulada com o setor produtivo, almejando o desenvolvimento (Santos, 2017).

Ou seja, o Brasil não reformulou de forma efetiva a sua relação com a ciência e a tecnologia mantendo um padrão comportamental que já existia desde a década de 1960, quando o governo militar no transcurso do cerceamento da liberdade política, procurou efetivar uma modernização e a tentativa de implantação de SNI no Brasil (Santos, 2017). Neste período

foram criados o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a FINEP que passaram a construir uma relação com o setor produtivo brasileiro, o que culminou na melhoria da produção nacional, mas devido as políticas macroeconômicas ineficientes fizeram com o que o Brasil ficasse estagnado.

A partir da Constituição de 1988, porém, houve novos aparatos institucionais para se consolidar um SNI no Brasil que foram consolidados somente em 2011, com a elaboração de um aparato jurídico legal de ciência e tecnologia para inovação. Essa proposta ganhou mais corpo a partir da emenda constitucional nº 85/2015 (Brasil, 2015) e depois a lei nº 13.243/2016 (Brasil, 2016c), que definiram as regras básicas da relação da ciência com o Estado, envolvendo Instituições de ensino e Setor Privado, visando a produção do conhecimento científico e tecnológico para servir à Inovação Tecnológica.

Esse marco regulatório foi constituído após a Lei 13.243/2016 (Brasil, 2016c) entrar em vigor, representando a intenção clara de constituição de um Sistema Nacional de Inovação e propondo a criação de ambientes especializados na promoção do conhecimento científico e tecnológico necessário à Inovação Tecnológica, com definição de elementos de interação entre o Setor Público, Instituições de Ensino e Setor Empresarial (Santos, 2017, p.118).

2.8 A POLÍTICA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

A Ciência, a Tecnologia e a Inovação nem sempre tiveram uma interligação e nem foram consideradas como complementares. Na antiguidade grega, por exemplo, considerava-se a ciência, no campo do pensamento filosófico, sem a necessidade de experimentação. Inclusive, esta última era considerada desonrosa, pois era associada ao trabalho, e somente escravizados trabalhavam na antiguidade grega (Zaterka; Mocellin, 2022). A doutrina baconiana a partir dos estudos da química, considerada por ele como uma verdadeira filosofia experimental, começou a dar ênfase nesse processo prático nos séculos XII e XIII, onde os avanços científicos no campo da química, na área do calor, do magnetismo, da física, passaram a ser notórios.

Esses paradigmas passaram a concorrer nas universidades da época. No entanto, a ênfase na pesquisa pura para conhecer os fenômenos e objetos naturais, sem interesses sociais ou aplicativos eram mais valorizados e a tecnologia uma mera instrumentação daquilo que já se conhecia (Zaterka; Mocellin, 2022), o que influenciou no pensamento moderno linear de Vannevar Bush (1945).

Somente em meados da segunda metade do século XX, ainda com uma perspectiva linear, pautada na perspectiva clássica grega, foi que a Ciência, Tecnologia e Inovação entrou na agenda pública (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). Recém-saído dos efeitos das guerras mundiais, onde a ciência teve um papel preponderante para a vitória dos países aliados, liderados pelos Estados Unidos, com a construção das bombas nucleares, começou-se a pensar como seria a política de Ciência e Tecnologia, ou seja, como o Estado iria lidar com elas após a segunda guerra mundial, inclusive as vinculando com o conceito de inovação (Stokes, 2005).

Na segunda metade do século XX, um novo paradigma se formava, entendendo a importância da Ciência, Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento dos mercados e da nação. Essa mudança associou a Ciência, Tecnologia e Inovação ao conjunto do processo produtivo (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). A Ciência e a Tecnologia foram incorporadas na agenda estatal e colocadas como centrais para disputa de poder, onde os avanços científicos e tecnológicos, orientados pelas demandas determinaria o grau de desenvolvimento de um país, indicariam onde Estado deveria orientar e apoiar essa atividade (Silva; Leis; Farah Jr, 2015).

No Brasil, ainda na segunda metade do século XX, a Ciência e a Tecnologia passaram a ser incorporadas e desenvolvidas por meio de programas de pós-graduações nas universidades para auxiliar o processo de industrialização, de forma a concretizar a substituição de importações no país (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). Nesse período foram criadas instituições como a fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), CNPq, além da fundação de Universidades para ajudar o estado brasileiro a desenvolver ciência e tecnologia a partir da apropriação das que já existiam e, posteriormente, foram desenvolvidas inovações.

Essa proposta se deu por meio do programa de substituição de importação, possibilitando ao Brasil avanços em áreas produtivas, onde empresas públicas estatais foram responsáveis pela inovação e a modernização do setor produtivo brasileiro (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). Esse projeto foi esvaziado entre as décadas de 1980 e 1990, devido a hegemonia do ideário neoliberal que propunha abertura da economia aos países em desenvolvimento, para os produtos industrializados dos países capitalistas centrais.

A política de Ciência e Tecnologia no Brasil ganhou mais relevo ao ter suas ações centralizadas no Ministério de Ciência Tecnologia (MCT). Ele foi criado após o debate da Academia Brasileira de Ciências e a Fundação Oswaldo Cruz, em 1967, mas só foi fundado em 1985, após a reabertura da democracia no país. A função do MCT era transformar a Ciência e Tecnologia em mola propulsora do crescimento econômico e social do país (Silva; Leis;

Farah Jr, 2015). As ações do MCT, inicialmente, estiveram destinadas para a construção de uma infraestrutura voltada para o desenvolvimento das ciências e tecnologias.

Apenas no final da década de 1990 que a Ciência e Tecnologia buscou uma maior integração com a Política Industrial brasileira por meio de incentivos fiscais em empresas (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). No entanto, esse período foi conturbado devido a abertura nacional ao mercado internacional, a falta de investimentos externos privados em P&D, associados ao fraco desempenho industrial do país no exterior que segundo os especialistas demonstravam o fraco envolvimento entre Ciência e Tecnologia e a política industrial expondo um fraco Sistema de Inovação Brasileiro (Silva; Leis; Farah Jr, 2015).

Somente em 2011 o conceito inovação é somado ao termo de ciência e tecnologia por intermédio de política pública no Brasil, então o Ministério de Ciência e Tecnologia passou a se chamar Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação (MCT e Inovação). Demonstrando que ter uma forte estrutura de ciência, tecnologia e inovação é fundamental para o processo de desenvolvimento da indústria brasileira (Silva; Leis; Farah Jr, 2015).

Também é necessária uma institucionalidade que torne os processos de P&D menos burocráticos e, ao mesmo tempo, com mais regulamentações importantes para o seu bom fluxo (Silva; Leis; Farah Jr, 2015). Para efetivar essa demanda os incentivos fiscais são essenciais no desenvolvimento de P&D com base em Ciência, Tecnologia e Inovação e na política industrial. Também deve ser criada uma política de formação e capacitação de capital humano constante dentro de um contexto de novas parcerias entre universidades e empresas, considerando as oportunidades existentes como a inovadora I4.0, que é a nova tendência global de produção industrial.

Oliveira (2013) ao analisar o contexto de pesquisa, desenvolvimento e resultados econômicos brasileiros no ano de 2011, conferiu que o programa educacional universitário brasileiro, tanto a graduação, mas principalmente, a pós-graduação estavam servindo a interesses mercantis devido a tentativa de inserção brasileira nas cadeias produtivas globais, por meio de uma articulação entre a política industrial, políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação, empresas brasileiras e universidades. Esses dados demonstram o objetivo do estado brasileiro de tornar a produção nacional mais competitiva internacionalmente, tendo como base o melhoramento dos índices de inovação e de produção de conhecimento que, por sua vez, demanda mais das universidades em questão de inovação e produção de conhecimentos voltados para o mercado.

Os incentivos fiscais e subsídios dados pelo estado brasileiro com o objetivo de inovar o setor industrial e produtivo brasileiro, fizeram com que programas de pós-graduações fossem

cada vez mais demandados por setores industriais que anseiam por soluções inovadoras. Isso também aumentou a disputa por fundos públicos destinados a Ciência, Tecnologia e Inovação.

Nesse contexto, o Brasil, a partir de 2011, vivenciou uma articulação interessante envolvendo cursos de graduação, pós-graduação, política industrial, política de Ciência, Tecnologia e Inovação e empresas que, para Oliveira (2013), seria prejudicial a autonomia dos pesquisadores brasileiros, pois estes estariam ou seriam pressionados a produzir mais soluções inovadoras para vencer a concorrência global. Mas, em contrapartida, o Brasil melhorou consideravelmente o seu índice de inovação e de produção de conhecimento nesse período, mesmo que de forma pífia se comparado com os Estados Unidos e Japão, na mesma época. No entanto, essa melhora, por consequência, ajudou a ressignificar positivamente a produção industrial brasileira e a competitividade dos produtos brasileiros no mercado internacional.

Com isso, a pesquisa aplicada neste período, voltada para atender as demandas empresariais e de mercado, em forma de geração de tecnologias e inovações, apresentou uma mudança considerável no perfil das universidades e em seus professores/pesquisadores, trazendo novas e dinâmicas exigências. Oliveira (2013) entendeu esse processo como algo que sobrecarregou o processo de trabalho da pesquisa e que essa tendência não evoluiu para a melhoria das condições de trabalho, trazendo novas competências para a classe dos professores universitários inseridos em programas de pós-graduações.

Todavia, não foi considerado o curto período avaliado entre uma efetiva articulação entre política educacional, de Ciência, Tecnologia e Inovação e política industrial. A nova interrelação entre as políticas públicas citadas pode ser vista como um começo de uma mudança institucional brasileira voltada para o desenvolvimento econômico, a partir da produção industrial, como aconteceu nos países centrais.

Essa articulação esteve apoiada em novo aparato, um novo instituto jurídico-legal, após a promulgação da Lei do Bem, ou a Lei de incentivo à inovação nº 11.196/2005 (Brasil, 2005), que institui a interação entre universidade e empresa para apoio à inovação da Lei nº 10.168/2000 (Brasil, 2000). Já a Lei nº 10.973/2004 (Brasil, 2004b) estabelece incentivos as medidas de inovação no setor produtivo, tendo em vista a capacitação, a independência tecnológica e o desenvolvimento industrial do país (Oliveira, 2013).

Paralelamente, o aumento do número de vagas nas universidades referentes à graduação e a criação de novos programas de pós-graduações, originou um maior número de matrículas. Esses acontecimentos estiveram relacionados ao Plano Nacional de Pós-Graduação de 2011 a 2020, que também foi responsável por promover um aumento de titulações de mestres e doutores nesse período (Oliveira, 2013). É importante enfatizar a criação de novas estratégias

voltadas à “avaliação, a interdisciplinaridade e apoio a educação básica” nesse período (Oliveira, 2013, p.329).

Essas significativas mudanças institucionais em prol da articulação de Ciência, Tecnologia e Inovação, Indústria e Educação por meio de políticas integradoras fizeram com que o Brasil aumentasse o número de registros de patentes (ciência aplicada) e publicação de artigos científicos (ciência básica), de acordo com Oliveira (2013). O Brasil, entre os anos de 2000 e 2020, por meio de criação de leis, programas nacionais, planos plurianuais e metas de políticas públicas se inseriu na nova geopolítica global voltada para a competição de inovações, tendo a Ciência, Tecnologia e Inovação como a propulsora dessa proposta.

A base do crescimento econômico do país deveria ser a Ciência, Tecnologia e Inovação, mas, em contrapartida, ocasiona uma maior demanda de trabalho dos professores universitários e no fortalecimento de uma lógica mercantil nas universidades, como afirma Oliveira (2013). Diferente de Oliveira (2013), pensamos que a inserção de uma lógica mercantil não seja de todo ruim, tendo em vista que ela pode ser geradora de mais empregos e mais desenvolvimento econômico. É evidente também que essa lógica deve vir acompanhada de melhores condições de trabalho aos professores universitários e financiamento de cotas para projetos que não tenham apenas um viés mercantil, mas que também sejam de interesse comunitário.

2.9 A POLÍTICA INDUSTRIAL TECNOLÓGICA E COMÉRCIO EXTERIOR (PITCE – 2004)

A Política Industrial (PI) interage com a política de Ciência, Tecnologia e Inovação e a macroeconomia, pois elas estão interrelacionadas. Por exemplo, uma política de Ciência, Tecnologia e Inovação voltada para a pesquisa básica será menos inovadora, prejudicando a política industrial, mesmo entendendo que a longo prazo a ausência de produção de pesquisas básicas consistentes, também pode tornar escasso o processo inovativo (Abdal, 2019). Políticas macroeconômicas destinadas para controlar a inflação a partir de câmbios e juros altos podem inviabilizar uma política industrial (Abdal, 2019) que é considerada uma política microeconômica (Peres; Primi, 2009).

De fato, uma efetiva PI já foi um instrumento para o desenvolvimento econômico e produtivo de várias nações que atualmente lideram a economia política global e tiveram melhoras nos seus índices de desenvolvimento humano e bem-estar. Como a Inglaterra, por exemplo, que utilizou medidas protecionistas para desenvolver a indústria têxtil, assim como investiu em capital humano para o desenvolvimento de tecnologias, entre os séculos XIV e

XV. A Alemanha, os Estados Unidos e o Japão, nos séculos XIX e XX, e depois os países do tigre asiático, a partir dos anos de 1960 também passaram por esses processos.

Todos esses países tiveram uma forte combinação entre ações de agentes privados e governamentais, o que possibilitou moldar o desenvolvimento de uma indústria e comércio forte, trazendo altos rendimentos econômicos e influência política global para esses países. Conforme afirmou o primeiro-ministro inglês Robert Walpole, em 1721: “É claro que nada contribui mais para o bem-estar de um país do que a exportação de bens manufaturados e a importação de matérias-primas” (Reinert, 2007 apud Peres e Primi, 2009, p. 26) [verificar fonte primária: Reinert (2007) disponível para citação direta].

A Alemanha e o Japão seguiram os ideais de Friedrich List (1841), que apostava em processos de aprendizagens para usar e produzir novas tecnologias que são fundamentais para o processo de desenvolvimento (Peres; Primi, 2009). A PI dos Estados Unidos foi muito próxima da Inglaterra, no entanto, os Estados Unidos focaram seus investimentos no setor de defesa e numa forte infraestrutura de ciência e tecnologia (Peres; Primi, 2009).

Os EUA associaram a sua PI a uma forte política comercial externa, mesmo nos anos que vendia e propagava a ideologia neoliberal como melhor caminho para os países em desenvolvimento, o então presidente Reagan fechou um acordo com o Japão, para que “voluntariamente” o Japão deixasse de exportar a sua produção de automóveis para os EUA, a fim de proteger o mercado interno de automóveis (Peres; Primi, 2009).

Já a república Coreana, em 25 anos de gradual e seletiva PI, se transformou em um dos líderes regionais em produção industrial e comercial por meio de um processo de aprendizagem tecnológica. Ela iniciou investimentos na indústria têxtil, na indústria de químicos e, depois, de forma intensiva na tecnologia. A aposta nas vantagens competitivas e o aumento da produtividade fizeram com que o país saísse de uma condição agrária para uma forte sociedade industrializada e competitiva (Peres; Primi, 2009). Posteriormente, o Estado passou usar medidas liberalizantes com as indústrias sul-coreanas, que se tornaram competitivas no mercado global e os setores ainda não competitivos ficaram sobre medidas comerciais protecionistas (Peres; Primi, 2009).

Especificamente, a PI sul-coreana apostou na diversificação dos setores de produção por meio de fortes metas de exportação, produtividade e gastos em P&D, o que alavancou a indústria sul-coreana e gerou altos índices de crescimento econômico. Após esse circuito de diversificação industrial, o governo concentrou seus investimentos nas indústrias que trouxeram mais rentabilidade.

Para Rodrik et al. (2004), a PI sul-coreana não confiou somente no setor empresarial para diversificar o setor produtivo e encontrar uma produção rentável economicamente, com maiores vantagens comparativas no mercado internacional. O Estado compartilhou o risco exploratório monitorando o mercado para que pudessem alcançar maior êxito. Depois desse momento destacaram-se as empresas que não conseguiram atingir as metas desejadas, focando na identificação dos agentes perdedores e não nos agentes vencedores diversificados (Peres; Primi, 2011). O Brasil, análogo a Coréia do Sul, teve um processo de apropriação de novas tecnologias por meio do programa de substituição de importação na segunda metade do século XX, mas diferente da Coréia do Sul foi descontínuo e se mostrou ineficiente.

Nos períodos de “ativismo estatal brasileiro”, como denominou Abdal (2019), voltados para o desenvolvimento, o Brasil deu início a sua PI, a partir da década de 1930 que durou até 1980, em sua primeira fase. O plano era estruturar e consolidar um parque industrial nacional como o dos países centrais do capitalismo, assim como tornar a produção do país mais diversificada e competitiva. Nesse período, o parque industrial esteve voltado para a criação de bens duráveis e bens de consumo. A PI nesse período não tinha uma clara sintonia com a Ciência, Tecnologia e Inovação, sendo a inovação nesse período um subproduto do próprio processo de industrialização brasileiro (Abdal, 2019).

Contrastando com esse movimento, ao iniciar as décadas de 1980 e 1990 houve uma política anti-industrial com desfinanciamento de fundos públicos que provocou a vulnerabilidade do setor industrial, na qual até a privatização de indústrias brasileiras e sua respectiva regulação por meio de agências foi efetivada (Abdal, 2019). O que estava colocado nos períodos finais de década de 1980 e início da década de 1990, seria dar um choque na produção industrial brasileira a partir da exposição do setor industrial brasileiro ao setor industrial externo, por meio da abertura indiscriminada do mercado brasileiro (Abdal, 2019). O foco do Estado brasileiro neste período era a política macroeconômica que tinha o objetivo de estabilização monetária e inflacionária, que por sua vez gerou desfinanciamento da institucionalidade do setor industrial brasileiro, forjado no período nacional desenvolvimentista brasileiro, o que gerou até mesmo um desmonte com as privatizações de grandes empresas públicas (Abdal, 2019).

No final da década de 1990, foi iniciado um movimento que viria como um novo “ativismo estatal” ou – também conhecida como – intervenção do Estado em prol da industrialização brasileira, com a criação de novos fundos públicos voltados para a Ciência, Tecnologia e Inovação e os fundos setoriais que vinculavam o orçamento federal com a

Ciência, Tecnologia e Inovação, focando na inovação. Nessa nova intervenção estatal a PI e a Ciência, Tecnologia e Inovação estariam integradas de forma inédita (Abdal, 2019).

Em 2004, tem-se novamente uma nova PI, com o estabelecimento da Política Industrial e Comércio Exterior (PITCE) (Vermulm, 2004), que durou até 2011, quando foi elaborada uma nova fase da PI com o Plano Brasil Maior (PBM), voltado para a competitividade da indústria. O PBM, lançado em 2011, veio para qualificar a PITCE (Vermulm, 2004) de forma que o setor industrial brasileiro voltasse a ter um crescimento direcionado para o aumento da produtividade, além de investimento fixo e inovação.

Essas metas estavam associadas com novas propostas para melhorar a competitividade da indústria brasileira, como: desoneração tributária do investimento produtivo; a desoneração de encargos previdenciários que incidem sobre a folha de pagamento dos setores têxtil, vestuários, calçados, madeiras, móveis e software; a medida provisória nº 495/2010, que priorizava produtos nacionais nas compras governamentais e medidas protecionistas (Almeida, 2005). De acordo com Almeida (2005), o Brasil não necessitava de mudanças estruturais na produção em um primeiro momento, mas sim aumentar a competitividade na produção industrial, onde já existiam vantagens comparativas como no setor têxtil, de vestuário e calçados.

Abdal (2019) diz que, nas primeiras décadas de PI, a Ciência, Tecnologia e Inovação (1930 a 1980) estava a cargo dos programas de pós-graduação das universidades, o que para o autor isolou as universidades do cotidiano da sociedade e das empresas. Para o autor, as universidades deveriam se encarregar de pesquisas básicas, por meio de apoio estatal e o setor privado no investimento em pesquisas aplicadas. No entanto, a então formulada PITCE (Vermulm, 2004) se dividia em dois eixos fundamentais: o horizontal, que previa a inovação e a modernização de todo o tecido industrial, e o vertical destinado aos setores estratégicos como bens de capital, fármacos, semicondutores e software, nanotecnologia, biotecnologia e biomassa.

Além das metas setoriais, a PITCE (Vermulm, 2004) inaugurava um novo arranjo institucional, com novas agências e com uma organização institucional já definida, apesar do desmonte entre as décadas de 1980 e 1990 (Abdal, 2019). Essa rede institucional de Pesquisa e Desenvolvimento seriam formadas por órgãos como o Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), o Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), os fundos setoriais, as Fundações Estaduais de Amparo a Pesquisas (FAPs), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Agência brasileira

de Promoção de Exportações (APEX) e, por fim, o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequena Empresa (SEBRAE) (Abdal, 2019).

Contando com referida rede, a PITCE (Vermulm, 2004) ainda fundaria a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), que articularia os atores que compõe a PI, e o Conselho Nacional Desenvolvimento Industrial (CNDI), que supervisionaria a ABDI (Abdal, 2019). O CNDI, atualmente, está sob organização do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC).

Contraditoriamente a partir de 2016, após a fundação da PITCE (Vermulm, 2004), a exportação de commodities aumentou consideravelmente, devido ao aumento do preço desses produtos em quase 300% no exterior (Abdal, 2019). Já o preço da manufatura não chegou nem na metade do aumento do preço das commodities. Esse aumento se deu pela maior procura da China e da Coréia do Sul por produtos de base. Essa característica relacionada ao mercado internacional comprometeu a produção industrial brasileira, onde o Brasil tinha maiores vantagens comparativas no setor de vestuários e calçados (Abdal, 2019).

2.10 INOVAÇÃO DE FRONTEIRA E A DIFUSÃO TECNOLÓGICA

Para compreender a dinâmica da neoindustrialização e da Indústria 4.0 no Brasil, é fundamental distinguir os dois motores que impulsionam o avanço tecnológico: a inovação de fronteira (pioneira e disruptiva) e a difusão tecnológica (adoção e modernização). Na literatura de economia institucional e de inovação, esses conceitos não são excludentes, mas representam estágios e necessidades distintas do ecossistema produtivo.

A inovação de fronteira, por sua vez, refere-se ao desenvolvimento de tecnologias proprietárias, pioneiras e de alto grau de ineditismo, como a inteligência artificial de ponta, sistemas ciberfísicos complexos, nanotecnologia e novos *hardwares* avançados. Esse tipo de inovação é caracterizado por atuar em cenários de elevada incerteza tecnológica, longo prazo de maturação e ausência de um mercado estabelecido (Mesquita, 2024).

Geralmente, a inovação radical ou de fronteira não é liderada por grandes corporações tradicionais, mas sim por organizações menores, como *startups* e empresas *deep techs*. Segundo (Damanpour; Wischnevsky, 2006), essas empresas menores possuem estruturas menos hierarquizadas, cultura empreendedora intensa e maior flexibilidade, o que as torna motores fundamentais da disrupção. São esses atores que assumem os riscos extremos associados às fases iniciais do desenvolvimento tecnológico (Auerswald; Branscomb, 2003).

Devido ao altíssimo risco de falha e ao "Vale da Morte" (intervalo crítico entre o término do financiamento de pesquisa e o início da receita comercial, período em que a

inovação carece de capital de risco e suporte de mercado para avançar) inerente a essas pesquisas, o capital privado tradicional foge desses investimentos. Portanto, o desenvolvimento da inovação de fronteira depende umbilicalmente de subvenção econômica (recursos não reembolsáveis), momento em que o Estado atua como absorvedor do risco extremo que o mercado negligencia (De Negri, 2021).

Enquanto a inovação de fronteira foca em "inventar o novo", a difusão tecnológica refere-se ao processo pelo qual inovações já consolidadas (tecnologias "de prateleira", como robôs industriais, sensores de Internet das Coisas e *softwares* de integração) são adotadas e disseminadas ao longo da estrutura industrial existente. Na prática, a principal força motriz da modernização do parque produtivo brasileiro atual não é a criação de tecnologias do zero, mas sim a inovação por difusão.

A literatura econômica destaca que setores tradicionais ou de baixa e média intensidade tecnológica (como alimentos, plástico, borracha e metalurgia) desempenham um papel central na acumulação de capacidades produtivas e no aumento da produtividade agregada de um país (Lall, 2000; Hirsch-Kreinsen et al., 2005). Nesses segmentos maduros, a dinâmica de inovação ocorre majoritariamente por meio da adoção de tecnologias já existentes incorporadas em novas máquinas e equipamentos, o que permite ganhos exponenciais de eficiência que se disseminam para o resto da economia (Betarelli Junior et al., 2020).

Como essas tecnologias já possuem viabilidade comprovada e as empresas maduras podem oferecer garantias e demonstrar capacidade de pagamento, a difusão tecnológica é financiada primordialmente por meio de crédito reembolsável (Dunham et al., 2025).

Para que um país realize um efetivo emparelhamento tecnológico (*catch-up*), a política de inovação precisa articular essas duas dimensões. Furtado (2017) e Vermulm (2018) advertem que uma política industrial nacional não pode se restringir apenas a financiar a inovação radical de fronteira (P&D estrito). Dada a defasagem estrutural e a obsolescência do parque fabril em países em desenvolvimento, o financiamento da difusão de tecnologias habilitadoras é vital para garantir ganhos de curto prazo na produtividade das empresas tradicionais.

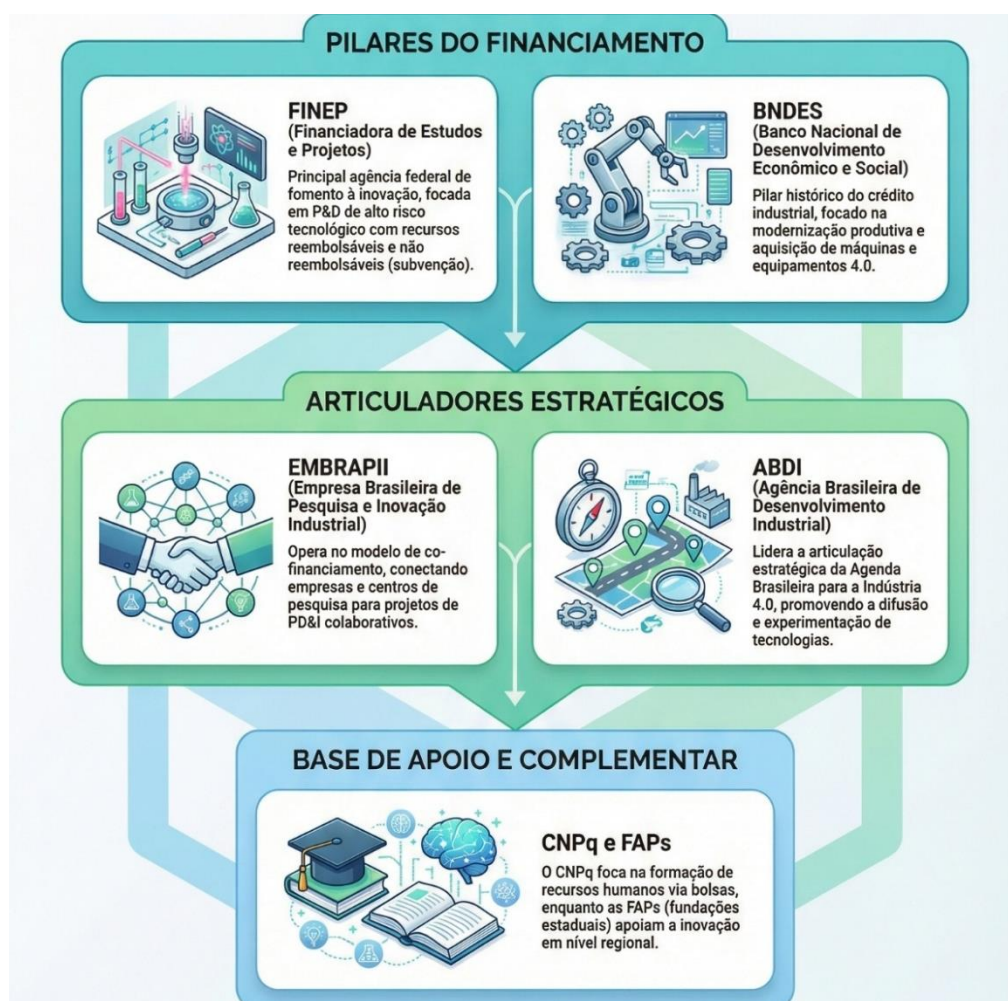
Em suma, o ecossistema brasileiro exige uma divisão de papéis complementares: enquanto instrumentos de subvenção (como os da FINEP e FAPESP) são desenhados para assumir o risco da inovação de fronteira nas firmas nascentes de base tecnológica, as linhas de crédito de longo prazo (como o BNDES Máquinas 4.0) operam na inovação por difusão, viabilizando a adoção de bens de capital digitais e permitindo que a indústria tradicional

combata a obsolescência e avance para o paradigma 4.0 (De Negri, 2021; Vermulm, 2018; Dunham et al., 2025).

CAPÍTULO 3 – AS PRINCIPAIS AGÊNCIAS DE FOMENTO FINANCIADORAS DE TECNOLOGIA 4.0 NO BRASIL

Este capítulo tem como objetivo identificar e caracterizar os principais financiadores públicos da Indústria 4.0 no Brasil, de acordo com o primeiro objetivo específico da pesquisa. O arranjo institucional do fomento à Indústria 4.0 no país está estruturado, de forma predominante, sob a coordenação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e do Ministério da Economia, os quais operam por meio de um conjunto diversificado de instrumentos, que incluem crédito subsidiado, subvenções econômicas e incentivos fiscais, conforme sistematizado por De Negri (2021). Nessa estrutura, tem-se a Finep, o BNDES, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII), a ABDI, o CNPq e as FAPs (Figura 1), os quais serão abordados com mais detalhes.

Figura 1 - O ecossistema do financiamento público na inovação 4.0 no Brasil



Fonte: Elaboração própria usando Notebook LM.

3.1 FINEP

A Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) se consolida como a principal agência federal de fomento à Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI) (FINEP, 2026a), sendo responsável pela execução dos recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) (FINEP, 2026b). A Finep foi criada em 24 de julho de 1967, por meio do Decreto nº 61.056, com o objetivo de substituir o Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico (Funtec) do BNDES. Sua criação deu-se em um contexto de necessidade de modernização da infraestrutura de pesquisa e capacitação de recursos humanos no Brasil (FINEP, 2026c).

O FNDCT foi criado em 31 de julho de 1969, através do Decreto-Lei 0719, no âmbito do Ministério do Planejamento, com a finalidade de dar apoio financeiro aos programas e projetos prioritários de desenvolvimento científico e tecnológico, notadamente para implantação do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – PBDCT (FINEP, 2026c).

Historicamente, a Finep evoluiu de uma agência voltada predominantemente ao financiamento de projetos de infraestrutura básica para uma instituição central no apoio sistemático à inovação tecnológica nas empresas, movimento que foi institucionalmente consolidado com a promulgação da Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004), a qual lhe conferiu amparo legal para operar a Subvenção Econômica, instrumento que permite a aplicação direta de recursos públicos em empresas e a partilha dos riscos inerentes às atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D) (Brasil, 2004b).

A atuação da Finep se consolida por meio de um conjunto diversificado de instrumentos de fomento, estruturados a partir do grau de risco tecnológico, da natureza da instituição e do porte dos projetos apoiados. De acordo com as Condições Operacionais mais recentes da agência (atualizadas em 10 de fevereiro de 2026), essa atuação divide-se fundamentalmente nas modalidades de **recursos reembolsáveis** (crédito) e **recursos não reembolsáveis** (subvenções e apoio à pesquisa), além de englobar operações de investimento e participação acionária (Finep, 2026e).

No âmbito do crédito subsidiado, o apoio a Planos Estratégicos de Inovação (PEIs) ocorre com taxas atreladas à Taxa Referencial (TR) ou TJLP. Esta modalidade divide-se em: direta, focada em grandes projetos e empresas com Receita Operacional Bruta (ROB) igual ou superior a R\$ 90 milhões (alinhada a políticas como a Nova Indústria Brasil - NIB); e descentralizada, operada por agentes financeiros regionais para atender micro, pequenas e médias empresas através de programas como o Inovacred.

Quanto aos recursos não reembolsáveis, o Estado compartilha o risco de projetos com alta incerteza tecnológica sem exigência de devolução. Isso abrange a subvenção econômica, que concede recursos do FNDCT a empresas mediante editais e contrapartida financeira, e o apoio a Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), voltado a instituições de pesquisa para infraestrutura, capacitação e projetos cooperativos com o setor privado.

Complementarmente, a Finep atua no mercado de capitais para fortalecer a estrutura financeira de empresas de base tecnológica, como startups e *deep techs*. Essa estratégia de investimento ocorre via participação acionária direta, por meio de Fundos de Investimento em Participações (FIP) e contratos de opção de compra (como o Finep Startup), ou de forma indireta, como cotista em fundos geridos por terceiros. Essa diversidade de instrumentos permite à agência cobrir desde a pesquisa básica até a maturidade tecnológica no mercado. É possível conferir mais modalidades de subvenção no Quadro 1.

Quadro 1 - Principais modalidades de fomento, programas e instrumentos de apoio à inovação da Finep

Modalidade de Atuação	Programa	Principais Características
1. Financiamento Reembolsável Direto	Apoio Direto à Inovação	Voltado para projetos acima de R\$ 30 milhões para grandes empresas.
	Finep Mais Inovação	Destinado a projetos com elevado grau de inovação que estejam atrelados às missões da Nova Indústria Brasil (NIB).
	Finep Direto Telecom	Foco específico no desenvolvimento e infraestrutura do setor de telecomunicações.
	Pré-Investimento	Financia estudos de viabilidade técnica/econômica, além de projetos básicos e executivos.
2. Financiamento Reembolsável Descentralizado (via agentes)	Finep Inovacred	Apoio à inovação voltado para micro, pequenas e médias empresas (opera via repassadores).
	Finep Inovacred 4.0	Foco exclusivo no financiamento de soluções de digitalização e adoção de tecnologias habilitadoras (Indústria 4.0).
	Finep Inovacred Telecom	Fomento ao desenvolvimento de produtos e serviços na área de telecomunicações para portes menores.
	Finep Inovacred B+P	Apoio de crédito destinado a empresas participantes do programa Brasil Mais Produtivo.
	Finep Aquisição Inovadora – Telecom	Financia a aquisição de itens e equipamentos inovadores de telecomunicações.

Modalidade de Atuação	Programa	Principais Características
3. Recursos Não Reembolsáveis (Subvenção / Apoio)	Chamadas Públicas / Editais Temáticos	Concessão de subvenção econômica (recursos não reembolsáveis) direta para empresas que assumem alto risco tecnológico.
	Finep Tecnova	Apoio descentralizado focado em micro e pequenas empresas, realizado em parceria com governos estaduais e o Sebrae.
	Centelha	Programa focado no apoio à criação de novos empreendimentos inovadores a partir de novas ideias (ideação).
	Finep Mover Empresarial	Utiliza recursos de fontes diversas para fomentar o desenvolvimento de toda a cadeia do setor automotivo.
4. Operações de Investimento (Capital de Risco Público)	Fundos de Investimento em Participações (FIP)	A Finep atua adquirindo participação acionária direta como investimento estratégico em Sociedades Anônimas (S.A.) inovadoras.
	Programa Finep Startup	Focado em empresas nascentes (startups) de base tecnológica, aportando capital via contrato de opção de compra de ações.
	Investimento em fundos de terceiros	A Finep participa de forma indireta, atuando como cotista em fundos de investimento estruturados e geridos pelo mercado.

Fonte: Elaboração própria a partir de Finep (2024).

3.1.1 Principais Programas da Finep para Apoio à Indústria 4.0

Focando nos programas da Finep de apoio à Indústria 4.0 (I4.0), os quais visam mitigar gargalos da difusão de tecnologias existentes e do financiamento de inovações disruptivas de alto capital. Esse suporte se operacionaliza por meio de três programas estratégicos. O Inovacred 4.0 atua como uma linha de crédito descentralizada, operada por bancos regionais (como BDMG e BRDE), com foco na modernização e digitalização de micro, pequenas e médias empresas (MPMEs). Seu objetivo central é a implementação de "tecnologias de prateleira" (incluindo sensores, robótica e softwares de integração), exigindo que os projetos sejam executados por empresas integradoras credenciadas para reduzir riscos operacionais em organizações sem engenharia avançada própria.

No segmento de inovação disruptiva, o programa Finep Startup funciona como um instrumento de investimento em empresas nascentes de base tecnológica, aportando capital em troca de opções de compra de ações. O foco reside em preencher a lacuna financeira do "vale da morte", priorizando deep techs que desenvolvem tecnologias críticas para a I4.0, tais como

hardware avançado, nanotecnologia, inteligência artificial de fronteira, visão computacional, Internet das Coisas (IoT), *blockchain* aplicado à logística e gêmeos digitais (digital twins).

Por fim, o Finep Mais Inovação constitui o principal mecanismo de subvenção econômica para projetos de alto risco tecnológico em médias e grandes empresas. Alinhado à Missão 4 (Transformação Digital) da política Nova Indústria Brasil (NIB), o programa visa estimular o desenvolvimento de tecnologias proprietárias e inéditas no país, como semicondutores, sistemas ciberfísicos e robótica avançada, assegurando a soberania nacional em setores de fronteira. A síntese desses programas e suas respectivas modalidades de fomento é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais programas da Finep para apoio à Indústria 4.0

Programa	Foco técnico	Objetivo
Inovacred 4.0	Implementação de soluções	Financiamento para aquisição de sensores, robótica e softwares de integração.
Finep Startup	Inovação disruptiva	Aporte em empresas nascentes que desenvolvem IA, IoT e nanotecnologia.
Finep Mais Inovação	P&D de fronteira	Subvenção para o desenvolvimento de tecnologias proprietárias 4.0, como digital twins.

Fonte: Elaboração própria a partir de Finep (2024).

A reestruturação dos instrumentos da Finep materializa a lógica de política pública voltada à correção de falhas de mercado, ao segmentar o apoio conforme o perfil empresarial e o estágio do processo inovativo. Nesse ecossistema, o financiamento reembolsável e a subvenção econômica operam de forma complementar para induzir o investimento privado em tecnologia.

No âmbito do crédito, o programa **Inovacred** utiliza recursos do FNDCT e é operacionalizado por uma rede de aproximadamente 30 agentes financeiros em todo o território nacional. Recentemente, a Finep anunciou o aporte de R\$ 1 bilhão para essa modalidade descentralizada, estabelecendo que os projetos submetidos sejam contratados até 31 de dezembro de 2025 (Finep, 2026f). Um ponto central dessa estratégia é a desconcentração regional do fomento, com a reserva mínima de R\$ 300 milhões destinados especificamente às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Paralelamente, a subvenção econômica atua como um mecanismo fundamental de compartilhamento de risco. Ao permitir que o Estado absorva parte das incertezas financeiras intrínsecas ao desenvolvimento de tecnologias inéditas, o instrumento viabiliza projetos de P&D de fronteira que, de outra forma, seriam negligenciados pelo mercado devido ao alto risco

(Finep, 2026e). Essa atuação estatal não apenas protege o capital privado, mas estimula externalidades positivas elevadas, fortalecendo a competitividade e a soberania tecnológica do país.

Ainda assim, o programa é estruturalmente vulnerável à instabilidade do FNDCT, do qual depende, além de impor elevados custos de transação às empresas, que frequentemente precisam recorrer a consultorias especializadas para elaborar projetos competitivos, o que consome parte do próprio fomento. Ademais, persiste a dificuldade histórica de mensurar com precisão se as inovações subsidiadas efetivamente resultaram em novas patentes, exportações e ganhos de competitividade, ou se apenas substituíram investimentos que as empresas realizariam com recursos próprios.

3.2 BNDES

De forma complementar à Finep, o BNDES atua como pilar do crédito industrial no Brasil e articulador central da política de Indústria 4.0, concentrando sua operação no financiamento subsidiado da modernização produtiva e na aquisição de bens de capital, sobretudo via sistema Finame. Fundado em 1952 com o propósito original de formular e executar a política nacional de desenvolvimento econômico, o então BNDE centrou suas atividades inicialmente em infraestrutura, voltando-se progressivamente à iniciativa privada e ao setor industrial (BNDES, 2026a). Atualmente, a instituição opera por meio de diferentes formas de apoio que variam conforme a finalidade e o valor solicitado, dividindo-se em modalidades diretas, indiretas e mistas (BNDES, 2026b).

O apoio direto, por sua vez, é voltado a financiamentos superiores a R\$ 40 milhões (ou R\$ 20 milhões, conforme a sistemática), utilizando produtos como o BNDES Finem. Já o apoio indireto ocorre por meio de instituições financeiras credenciadas que assumem o risco da operação, subdividindo-se em automático (para valores de até R\$ 150 milhões em linhas como o BNDES Finame e o Cartão BNDES) e não automático, que exige análise individual do banco para valores entre R\$ 20 milhões e R\$ 40 milhões. Existe ainda a operação mista, que compartilha o risco de crédito entre o BNDES e a instituição repassadora (BNDES, 2026b). A partir de 2018, esse papel foi aprofundado com a criação de instrumentos como o BNDES Máquinas 4.0 e Serviços 4.0, voltados a induzir a incorporação de tecnologias digitais. Segundo Julio Semeghini (Gandra, 2020), a alta demanda por esses recursos (exemplificada por um edital da Finep que recebeu solicitações de R\$ 1,7 bilhão para um orçamento de apenas R\$ 50 milhões) expõe os limites do preparo do país para a transformação digital.

A linha BNDES Máquinas 4.0, especificamente, é uma submodalidade do Finame para a aquisição de equipamentos com tecnologias integradas, como sensores e conectividade IoT, visando combater a obsolescência fabril e promover a comunicação *machine-to-machine* (M2M) (BNDES, 2026c). Paralelamente, o BNDES Serviços 4.0 financia serviços tecnológicos em categorias como manufatura enxuta, digitalização, manufatura avançada e eficiência energética, permitindo o uso de até 20% do valor para capital de giro. No entanto, a efetividade desses instrumentos enfrenta o déficit estrutural de conectividade rural, o que restringe tecnologias avançadas a regiões desenvolvidas e cria barreiras para pequenos produtores (Gonçalves, 2024). Conforme o plano Nova Indústria Brasil (Brasil, 2024d), apenas 18% dos estabelecimentos de agricultura familiar são mecanizados, e a meta da Missão 1 é elevar esse índice para 70%, mitigando o isolamento do "Agro 4.0" no grande agronegócio.

Apesar da segmentação, o acesso ao crédito permanece limitado por assimetrias de informação e critérios técnicos sofisticados para o enquadramento de projetos "4.0", o que afasta empresas sem capacidade técnica estrutural (Gonçalves, 2024; Ottonicar et al., 2019). Persiste também uma seletividade bancária conservadora que, mesmo com juros subsidiados, prioriza empresas consolidadas com maiores garantias. No contexto da Nova Indústria Brasil, o banco consolidou o BNDES Mais Inovação, formalizado em 2023 no Plano Mais Produção. Utilizando recursos do FAT remunerados pela Taxa Referencial (TR), esse instrumento oferece "capital paciente" para P&D e digitalização (BNDES, 2026d).

Dentro deste programa, destaca-se o BNDES Mais Inovação - Difusão Tecnológica, voltado à contratação de serviços tecnológicos e aquisição de bens de informática e automação nacionais, em conformidade com a Lei de Informática e o Processo Produtivo Básico, sendo vedado o apoio a veículos de carga e equipamentos de transporte específicos. Por fim, o BNDES Funtec permanece como o principal instrumento de subvenção não reembolsável para projetos de P&D realizados entre empresas e ICTs em setores estratégicos como biotecnologia e manufatura avançada (BNDES, 2024b). Ao todo, o BNDES consolidou na última década um arcabouço robusto que integra crédito de longo prazo, financiamento de ativos tangíveis e intangíveis e apoio à pesquisa acadêmica aplicada ao mercado (Quadro 3).

Quadro 3 - Modalidades de Apoio do BNDES à Indústria 4.0

Programa / Linha	Natureza	Foco de Atuação
BNDES Máquinas 4.0	Crédito (Finame)	Aquisição de máquinas e equipamentos com sensores, conectividade IoT e monitoramento remoto.
BNDES Serviços 4.0	Crédito	Ativos intangíveis: computação em nuvem, licenças de software (ERP, MES, PLM), consultoria e cibersegurança.
BNDES Agro 4.0	Crédito	Digitalização do agronegócio: drones, sensores de solo e sistemas de gestão de precisão.
BNDES Mais Inovação	Crédito (Longo Prazo)	Financiamento de P&D, modernização e digitalização com taxas competitivas (indexadas à TR).
BNDES Funtec	Subvenção (Não Reembolsável)	Projetos de inovação realizados em parceria entre empresas e Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs).

Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2024).

3.3 EMBRAPII

No contexto do fomento federal à inovação, a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) consolidou-se como um ator central desde sua criação oficial em 2013. Operando atualmente por meio de um contrato de gestão que envolve o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e outras três pastas: Educação (MEC), Saúde (MS) e Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), a organização mantém parcerias estratégicas com o BNDES e o Sebrae (Embrapii, 2026a).

Inspirada no modelo alemão da Fraunhofer-Gesellschaft, a maior organização de pesquisa aplicada da Europa e motor tecnológico do conceito de Indústria 4.0, a EMBRAPII adota uma lógica de compartilhamento de riscos financeiros e tecnológicos (Fraunhofer-Gesellschaft, 2024; Embrapii, 2026b). O objetivo central é converter o conhecimento científico em ativos comercializáveis, focando especialmente nos níveis de maturidade tecnológica intermediários, conhecidos como TRL (Technology Readiness Level) 4 a 7, o estágio crítico em que inovações frequentemente falham por escassez de capital e infraestrutura de teste (De Negri, 2021).

O funcionamento da agência estrutura-se em um modelo tripartite de financiamento: a EMBRAPII provê um terço do valor total do projeto via subvenção não reembolsável; a Unidade EMBRAPII (centro de pesquisa credenciado) contribui com outro terço em infraestrutura e capital humano; e a empresa parceira integraliza o terço restante (Embrapii, 2020). Ao credenciar centros já estabelecidos em universidades e institutos, como o SENAI

CIMATEC ou o IPT, a agência evita a criação de novas burocracias e otimiza a infraestrutura instalada no país (Embrapii, 2020).

No âmbito da Indústria 4.0, a EMBRAPII diferencia-se pela agilidade operacional, atuando em regime de fluxo contínuo. Diferentemente de agências como a Finep, que dependem de editais com prazos rígidos, o modelo permite que empresas negociem e iniciem projetos diretamente com as Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) conforme suas necessidades competitivas (Embrapii, 2020). Com a implementação da política Nova Indústria Brasil (NIB), a agência passou a liderar programas de digitalização e descarbonização, conectando hardware e software nacionais às metas de produtividade da Missão 4 (Brasil, 2025f).

Apesar da reconhecida eficiência, o modelo apresenta limitações estruturais. A exigência de que a empresa aporte um terço do valor do projeto constitui uma barreira para micro e pequenas empresas com restrições de fluxo de caixa, o que tende a concentrar o fomento em organizações de médio e grande porte. Além disso, o processo de credenciamento das Unidades EMBRAPII, realizado via chamadas públicas ou encomendas, é submetido às prioridades e condições financeiras estabelecidas pelo seu Conselho de Administração (Embrapii, 2020).

A transposição do modelo *Fraunhofer* para o cenário brasileiro enfrenta, no entanto, o desafio da sustentabilidade financeira. Enquanto a organização alemã detém décadas de patentes que geram *royalties*, as Unidades EMBRAPII ainda dependem fortemente de aportes federais contínuos, tornando o sistema vulnerável a oscilações orçamentárias (De Negri, 2021). Ademais, o êxito das iniciativas depende da capacidade técnica e gerencial de cada unidade; falhas na gestão da propriedade intelectual ou atrasos laboratoriais podem comprometer o *time-to-market* das inovações apoiadas (De Negri, 2021).

3.4 ABDI

A Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) foi instituída em 30 de dezembro de 2004, pela Lei nº 11.080 e regulamentada pelo Decreto nº 5.352/2005, no escopo da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE) (Brasil, 2005). Configurada como um Serviço Social Autônomo, possui personalidade jurídica de direito privado e natureza sem fins lucrativos (Brasil, 2004a), operando sob contrato de gestão vinculado ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Atualmente, sua missão concentra-se na execução de programas e projetos voltados à

No âmbito de suas competências, a ABDI auxilia o Governo Federal na implementação de diretrizes como a política Nova Indústria Brasil (NIB), atuando para tornar a indústria nacional mais competitiva, tecnológica e sustentável (ABDI, 2026b). Ao longo da última década, a organização protagonizou uma inflexão institucional, migrando de uma atuação pautada na produção de estudos para uma orientação focada na execução de projetos de difusão tecnológica (Ottonicar et al., 2019). Esse movimento consolidou-se em 2018, quando a agência desempenhou papel central na formulação da Agenda Brasileira para a Indústria 4.0, estruturando iniciativas para reduzir as barreiras de entrada às tecnologias digitais (Vermulm, 2018).

Um dos instrumentos basilares desse reposicionamento foi a implementação de *testbeds*. Esses ambientes controlados de experimentação permitem que as empresas testem, em condições análogas ao chão de fábrica, soluções como redes privadas de 5G, robótica colaborativa e sistemas de visão computacional antes de efetuarem investimentos de larga escala (Gonçalves, 2024; Vermulm, 2018). Complementarmente, a ABDI estruturou o programa Conexão Startup-Indústria, atuando como intermediária para conectar startups detentoras de softwares inovadores a grandes plantas industriais com demandas concretas de produtividade. O modelo promove a transferência de tecnologia e a validação de projetos-piloto em ambiente real de produção (Gonçalves, 2024; Vermulm, 2018).

Em 2026, sob a égide da NIB, a ABDI assumiu a operação central da digitalização de micro e pequenas empresas (MPEs) por meio do programa Brasil Mais Produtivo (ABDI, 2026c). O foco recai na chamada “Indústria 4.0 de entrada”, priorizando ferramentas de gestão em nuvem, controle de estoque automatizado e sensores básicos para gerar ganhos rápidos de produtividade (Brasil Mais Produtivo, 2026). O programa abrange MPEs de todos os setores e empresas industriais de médio porte (CNAEs entre 5 e 43), integrando-se à Missão 4 da política industrial vigente: a transformação digital para a ampliação da produtividade (Brasil Mais Produtivo, 2026).

Contudo, o modelo operacional da ABDI apresenta limitações estruturais. Em termos de escalabilidade, projetos como os *testbeds* permanecem frequentemente em caráter exemplar, enfrentando dificuldades para atingir uma massa crítica de empresas devido às restrições orçamentárias da agência frente a instituições como o BNDES. Ademais, ao contrário da EMBRAPPII, que foca na geração de novas tecnologias via P&D, a ABDI atua predominantemente na ponta da difusão e no estímulo ao apetite tecnológico. Isso a posiciona como um ator focado na demanda por inovação e na absorção de tecnologias existentes, e não em sua criação proprietária (De Negri, 2021).

3.5 FAPESP

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), embora vinculada à esfera estadual, ocupa posição estratégica no financiamento da Indústria 4.0 no Brasil devido à escala de seus recursos e à centralidade paulista no sistema produtivo e científico nacional. Em 2024, a fundação registrou um desembolso recorde de aproximadamente R\$ 1,76 bilhão em 27.005 bolsas e auxílios vigentes, montante que equivale a cerca de 20% do orçamento do FNDCT operado pela Finep no mesmo período, conferindo-lhe uma capacidade de atuação de alcance quase federal (Fapesp, 2025). Entre 2021 e 2024, a FAPESP investiu ainda R\$ 540 milhões em 166 projetos com impacto em políticas públicas; no âmbito do Programa FAPESP de Políticas Públicas, por exemplo, foram aprovados 71 projetos, distribuídos majoritariamente entre as áreas de sustentabilidade, ambiente, cidades e saúde (Izique, 2024).

Criada pela Lei Estadual nº 5.918 (São Paulo, 1960) e institucionalizada pela Constituição Estadual de 1989, a FAPESP opera sob um dos modelos de financiamento mais estáveis do mundo, com o repasse constitucional garantido de 1% da receita tributária estadual (Constituição Estadual, 1989; FAPESP, 2026a). Tal autonomia financeira e administrativa a diferencia das agências federais sujeitas a contingenciamentos, permitindo o planejamento de pesquisas de longo prazo essenciais para as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, que exigem ciclos prolongados de maturação científica. Esse suporte gera impactos econômicos diretos: cada R\$ 1 investido na agropecuária retorna R\$ 12, enquanto o apoio a pequenas empresas eleva o faturamento médio em 22% e a arrecadação de impostos na proporção de R\$ 1 para R\$ 6 (Izique, 2024).

No apoio direto ao setor produtivo, o principal instrumento é o Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE), criado em 1997 e inspirado no modelo norteamericano *Small Business Innovation Research (SBIR)* (FAPESP, 2026a). O PIPE estrutura-se em três fases que acompanham o ciclo de vida da inovação: a Fase 1 foca na viabilidade técnica (até R\$ 300 mil por 9 meses); a Fase 2 volta-se ao desenvolvimento da pesquisa e protótipos (até R\$ 1,5 milhão por 24 meses); e a Fase 3 foca na inserção comercial e escalonamento industrial, operando frequentemente via PIPE-Programa de Apoio à Pesquisa em Empresas (PAPPE) Subvenção em parceria com a Finep, com valores de até R\$ 2 milhões (FAPESP, 2026a). O programa tem sido decisivo para a posição de destaque de São Paulo no cenário de inovação (Agência FAPESP, 2024).

Atualmente, das 875 startups *deep techs* no Brasil, 55% situam-se em São Paulo. Das empresas que captaram mais de R\$ 5 milhões, cerca de 70% utilizaram recursos públicos, sendo que metade desse fomento proveio da FAPESP, superando a atuação da Finep, Sebrae ou Embrapii no estado (Agência FAPESP, 2024). Complementarmente, a fundação fortalece a infraestrutura científica por meio dos Centros de Pesquisa em Engenharia (CPEs), com aportes de R\$ 20 milhões a R\$ 50 milhões por até dez anos. Em 2026, mantinha centros ativos com parceiros como Ericsson (5G e fábricas inteligentes), Embraer (mobilidade aérea autônoma) e Shell (energias renováveis e hidrogênio), articulando conceitos de Indústria 4.0 para competitividade global (Fapesp, 2026b).

Apesar da relevância, o modelo apresenta limitações. O programa impõe uma barreira acadêmica ao exigir coordenadores com perfil científico consolidado, o que pode excluir empreendedores com alto conhecimento de mercado, mas sem titulação formal (FAPESP, 2022). Somam-se a isso a restrição territorial a empresas sediadas em São Paulo, o que reforça a centralização da inovação no país, e o elevado rigor burocrático na prestação de contas, que demanda estruturas administrativas profissionalizadas, especialmente desafiadoras para pequenas empresas.

3.6 A POLÍTICA NOVA INDÚSTRIA BRASIL E SEUS RESULTADOS INICIAIS

Esse conjunto de instituições, instrumentos e volumes de recursos conformou, ao longo da segunda metade da década de 2010, a arquitetura do fomento público à Indústria 4.0 no Brasil. Entretanto, a partir de 2023, esse arranjo passou a ser progressivamente reconfigurado no âmbito da política Nova Indústria Brasil (NIB), especialmente por meio da Missão 4, dedicada à transformação digital como vetor de aumento da produtividade. Nesse novo ciclo, o governo federal estruturou o plano “Mais Produção”, que previu o aporte de R\$ 250 bilhões até 2026 em diferentes modalidades.

públicas (BRASIL, 2024d). Essa arquitetura confere à política um caráter explicitamente orientado a resultados, articulando inovação, sustentabilidade ambiental e competitividade internacional.

No plano operacional, o principal braço financeiro da NIB é o Plano Mais Produção (P+P), que, em janeiro de 2026, alcançou o montante de R\$ 643,3 bilhões em recursos mobilizados, operados pelas principais agências federais de fomento (BRASIL, 2026a). Esse volume representa uma expansão expressiva em relação aos R\$ 300 bilhões originalmente anunciados no lançamento da NIB, em 2024, o que corresponde a um crescimento de 114,4%.

Entre 2023 e 2025, desse total, R\$ 588,4 bilhões já haviam sido efetivamente destinados ao financiamento de aproximadamente 406 mil projetos distribuídos em todas as regiões do país e alinhados às seis missões da política. Desse conjunto, a Missão 4, dedicada à transformação digital, respondeu por R\$ 99 bilhões aplicados em 41,5 mil projetos, o que aponta o peso estratégico atribuído à Indústria 4.0 no novo ciclo de política industrial (BRASIL, 2026a).

A NIB, contudo, não se sustenta apenas sobre instrumentos tradicionais de crédito. Ao contrário, sua arquitetura incorpora um conjunto integrado de mecanismos destinados a reduzir o custo de capital, acelerar a modernização produtiva e alinhar o investimento privado aos objetivos estratégicos do Estado. Entre esses instrumentos, destaca-se a depreciação acelerada, que se consolidou como um dos mecanismos mais relevantes em 2025 e 2026 ao permitir que empresas abatam o valor de máquinas e equipamentos do Imposto de Renda em prazos significativamente menores (até dois anos, em vez de até dez) gerando alívio imediato de caixa e estimulando investimentos em modernização tecnológica (BRASIL, 2025e).

Complementarmente, as Letras de Crédito do Desenvolvimento (LCDs) foram criadas como instrumento de captação de recursos de baixo custo para o BNDES e outros bancos de desenvolvimento, oferecendo isenção de Imposto de Renda para pessoas físicas e canalizando a poupança privada para o financiamento de projetos da NIB com juros reduzidos (BRASIL, 2026a).

Além disso, a política de compras governamentais e conteúdo local passou a ser utilizada de forma estratégica para induzir investimentos produtivos e tecnológicos. Em 2026, no âmbito do Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e das compras públicas em saúde, ampliaram-se as margens de preferência para produtos fabricados no Brasil, condicionando o acesso a esses mercados a contrapartidas de inovação, desenvolvimento tecnológico e geração de conteúdo local (BRASIL, 2025e). No campo específico da transformação digital, a NIB também estruturou uma linha de Crédito Indústria 4.0 vinculada à Missão 4, destinada à aquisição de tecnologias

Do ponto de vista dos fluxos financeiros, os dados de janeiro de 2026 indicam que aproximadamente R\$ 281 bilhões já haviam sido aprovados no âmbito do Plano Mais Produção. No eixo de inovação, operacionalizado principalmente pelo programa BNDES Mais Inovação, foram registrados R\$ 21,95 bilhões em créditos aprovados para projetos de alto risco tecnológico, com taxas indexadas à Taxa Referencial (TR), o que reduz significativamente o custo real do capital em comparação às condições de mercado (BRASIL, 2024b). Especificamente no âmbito da Missão 4, em agosto de 2025 foi lançada uma linha conjunta

BNDES-Finep no valor de R\$ 12 bilhões, direcionada à difusão de equipamentos e soluções de Indústria 4.0, como inteligência artificial, Internet das Coisas e robótica, reforçando o papel do crédito e das subvenções na aceleração da digitalização produtiva (BRASIL, 2026a).

Os impactos desse novo regime de política industrial já começam a se refletir também nos indicadores de propriedade intelectual, que constituem um importante proxy do “output” tecnológico da economia. O Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) encerrou o ano de 2025 com métricas que apontam para um aquecimento na atividade de proteção tecnológica, impulsionado tanto pelo aumento da demanda quanto pela maior celeridade dos processos, viabilizada pela incorporação de ferramentas de inteligência artificial ao exame de pedidos (BRASIL, 2025a).

Paralelamente, os depósitos de patentes cresceram 5,3% em relação a 2024, enquanto os pedidos de patentes de invenção por residentes registraram, apenas no primeiro semestre de 2025, um aumento de 5,8%, sinal de que a inovação gerada em território nacional passou a buscar, em maior grau, proteção formal (BRASIL, 2025b). Paralelamente, o INPI projeta para 2026 um tempo médio de decisão para marcas de apenas dez meses, o que tende a liberar capacidade técnica e administrativa para o exame de patentes, reforçando ainda mais o ambiente de proteção à inovação.

Essa dinâmica revela uma convergência qualitativa entre a NIB, os instrumentos de fomento operados pelo BNDES e pela Finep e o sistema de propriedade intelectual. Em 2026, a política de missões consolidou-se como um mecanismo de condicionalidade, no qual o crédito e as subvenções não são apenas setoriais, mas orientados à solução de problemas estratégicos, como a digitalização da indústria e a descarbonização. No âmbito do BNDES Mais Inovação, isso se traduziu em uma atuação que vai além da provisão de liquidez, assumindo o papel de mitigador de risco ao priorizar projetos com elevado grau de ineditismo nacional (BRASIL, 2024b). Adicionalmente, o foco em conteúdo local tornou-se mais rigoroso, vinculando o financiamento público à exigência de que o núcleo do desenvolvimento tecnológico, e não apenas a montagem industrial, ocorra em solo brasileiro.

Com isso, o INPI passou a desempenhar um papel estratégico na neindustrialização, deixando de ser percebido como um gargalo burocrático para se consolidar como um ativo de inteligência competitiva e de soberania tecnológica. O registro de patentes passou a funcionar como um “selo” que valida o conteúdo tecnológico nacional dos projetos apoiados, especialmente nas áreas de patentes verdes, vinculadas à Missão 5, e de inteligência artificial e digitalização, associadas à Missão 4 (BRASIL, 2025f).

Com efeito, a incorporação de ferramentas de inteligência artificial ao exame de anterioridade reduziu significativamente o tempo entre o depósito e a primeira decisão técnica, fortalecendo a previsibilidade jurídica e incentivando as empresas a internalizarem o registro de ativos intangíveis como parte de suas estratégias de inovação.

Ademais, o BNDES vai destinar mais R\$ 70 bilhões para a Nova Indústria Brasil (NIB) até dezembro de 2026. Os novos recursos serão aplicados na NIB após o Banco ter alcançado, ainda em dezembro de 2025, a meta de destinar R\$ 300 bilhões (Agência BNDES de Notícias, 2026).

Em balanço, a NIB, operacionalizada pelo Plano Mais Produção e articulada aos sistemas de crédito, subvenção e propriedade intelectual, estabeleceu até 2026 uma nova base institucional para a Indústria 4.0 no Brasil, combinando volume inédito de recursos, instrumentos financeiros sofisticados e uma lógica de política pública orientada por missões. Esse arranjo cria as condições estruturais para que, nos próximos anos, seja possível avaliar não apenas o volume de investimentos mobilizados, mas, sobretudo, a capacidade do país de transformar esses estímulos em ganhos sustentáveis de produtividade, inovação e autonomia tecnológica.

CAPÍTULO 4 – MAPEAMENTO E ANÁLISE DO FINANCIAMENTO À INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

Este capítulo mapeia o financiamento público à Indústria 4.0 no Brasil a partir de três programas federais: FINEP Tecnologias 4.0 (2020), BNDES Inovação (2018–2024) e BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). A análise organiza-se em três eixos: (1) panorama geral dos instrumentos e comparação de montantes; (2) mapeamento das tecnologias e setores contemplados; (3) distribuição dos recursos por região, porte de empresa e setor industrial. Em cada eixo, os dados são apresentados, interpretados e cotejados com a literatura de sistemas de inovação.

A unidade de análise adotada neste capítulo é a operação: cada contrato individual firmado entre a agência de fomento e uma empresa beneficiária, registrado com data, valor desembolsado, setor CNAE, porte e localização geográfica. Como uma mesma empresa pode ter múltiplas operações ao longo do período, o número de operações não corresponde ao número de empresas atendidas. O indicador central derivado dessa unidade é o Valor Médio por Operação (VM/Op.), calculado como o total desembolsado dividido pelo número de operações com desembolso confirmado. Esse indicador funciona como proxy da lógica distributiva de cada instrumento: programas com VM/Op. elevado concentram recursos em poucos contratos de grande porte; programas com VM/Op. baixo pulverizam recursos em muitas empresas menores. Essa distinção é analiticamente relevante porque revela para quem, de fato, cada instrumento foi desenhado.

4.1 PANORAMA GERAL DOS PROGRAMAS DE FINANCIAMENTO À I4.0

4.1.1 A Heterogeneidade dos Instrumentos: Subvenção vs. Crédito

A análise dos resultados inicia-se com a apresentação estruturada dos três programas federais que constituem o corpus empírico desta investigação. O Quadro 4 sistematiza as características fundamentais de cada instrumento. O Quadro 4 evidencia a heterogeneidade de natureza, recorte temporal e lógica operacional, fatores que condicionam a interpretação dos dados subsequentes.

Quadro 4 - Resumo comparativo dos programas de financiamento à Indústria 4.0 no Brasil

Programa	Instrumento Financeiro	Período Ativo	Nº Proj./ Operações	Natureza do Risco	Vinculação 14.0
MCTI/FINEP/FNDCT Subvenção Econômica 04/2020 (Tecnologias 4.0)	Subvenção (NÃO reembolsável)	2020 (1 edital)	144 projetos únicos (509 linhas c/ parcelas)	Estado assume risco recursos a fundo perdido (grant)	Direto: Tecnologias 4.0 (Indústria, Agro, Saúde, Cidades Inteligentes)
BNDES Inovação (Indústria de Transformação) 2018–2024	Crédito (reembolsável)	2018–2024 (7 anos)	801 operações (de 8.407 totais — 9,5%) [Setor BNDES = INDÚSTRIA] [Nota: 784 Indústria de Transformação + 17 Indústria Extrativa = 801; ver Tabela 4]	Empresa assume risco de inadimplência (loan)	Indireto: via instrumento Financiamento à inovação produtiva e expansão
BNDES Máquinas 4.0 (Indústria de Transformação) 2019–2024	Crédito (reembolsável)	2019–2024 (6 anos)	180 operações (de 398 totais — 45,2%) [SETOR CNAE = Ind. Transform.]	Empresa assume risco de inadimplência (loan)	Direto: aquisição de máquinas/equip. alinhados à Indústria 4.0

Fonte: Elaboração própria a partir de FINEP (2020–2024) e BNDES (2018–2024).

O Quadro 4 apresenta a ficha técnica comparativa dos três programas empiricamente analisados. O primeiro eixo de diferenciação é a natureza do instrumento financeiro: a Chamada Pública MCTI/FINEP/FNDCT Subvenção Econômica 04/2020 opera via subvenção direta (modalidade não reembolsável) (Finep, 2020). Os programas BNDES Inovação (2018–2024) e BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024), por sua vez, operam via crédito reembolsável.

Essa distinção não é meramente técnica: ela determina quem pode acessar cada instrumento, que tipo de projeto é elegível e qual fase do processo inovativo é financiada. A subvenção, por não exigir retorno, é o instrumento adequado para projetos com elevada incerteza tecnológica, resultados de longo prazo e ausência de mercado estabelecido, características definidoras das inovações pioneiras (Mesquita, 2024). O crédito, ao contrário, requer que a empresa demonstre capacidade de pagamento e que o projeto apresente perspectiva de retorno econômico dentro do horizonte de amortização (BNDES, 2026b), o que favorece projetos de modernização produtiva e inovações de competitividade ou difusão tecnológica em setores maduros (Dunham et al., 2025).

Outro eixo de diferenciação reside na natureza da vinculação desses instrumentos com o paradigma da Indústria 4.0 (direta ou indireta). Conforme sistematizado no Quadro 4, a distribuição de projetos da FINEP (2020) demonstra uma concentração predominante nas verticais de Indústria 4.0, Agro 4.0 e Saúde 4.0. Quanto ao BNDES Inovação (2018–2024), sua vinculação analítica com a Indústria 4.0 foi indireta, focando em “Indústria da Transformação”.

Por fim, o BNDES Máquinas 4.0 estabelece uma vinculação direta e operacional com o paradigma digital, voltando-se exclusivamente à aquisição de bens de capital e equipamentos avançados. Ao destinar 45,2% de suas operações (180 registros) à Indústria de Transformação, o instrumento atua na ponta da difusão tecnológica, viabilizando a incorporação de ativos físicos alinhados à Indústria 4.0 e complementando o esforço de pesquisa aplicada financiado pela FINEP.

Vermulm (2018) corrobora essa visão ao afirmar que uma política nacional não pode se restringir apenas à inovação radical, sendo a difusão de tecnologias habilitadoras (adoção de maquinário) algo vital para garantir ganhos de curto prazo na produtividade das empresas. Essa configuração aponta uma clara divisão de papéis no Sistema Nacional de Inovação. Como argumenta **Furtado (2017)** e **Vermulm (2018)**, dada a defasagem estrutural do parque fabril brasileiro, políticas estritas de P&D são insuficientes se não forem acompanhadas de fortes mecanismos de difusão tecnológica.

Os dados confirmam que o BNDES atua como o financiador da escala e da modernização física, corrigindo falhas de adoção em setores industriais tradicionais, enquanto a FINEP assume os riscos extremos da inovação de fronteira (De Negri, 2021). Juntos, esses instrumentos materializam os esforços recentes de neoindustrialização propostos pela Missão 4 da política Nova Indústria Brasil (Brasil, 2025f).

4.1.2 Comparação Normalizada de Montantes e Eficiência Alocativa

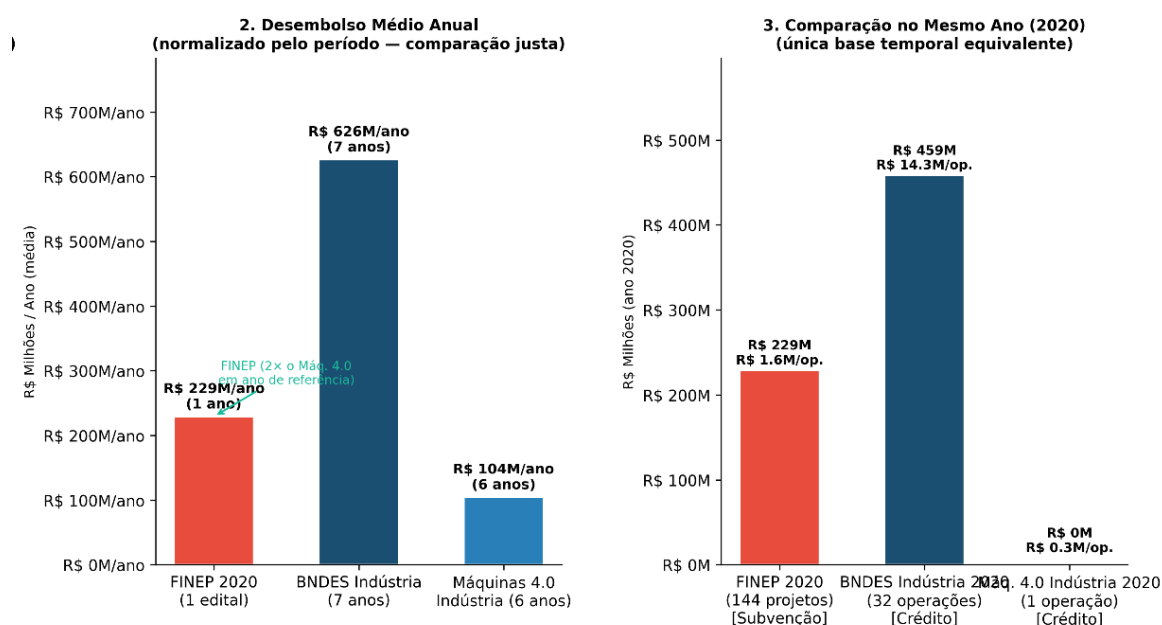
Comparar os três programas pelo volume bruto de desembolso é enganoso, porque os períodos de operação diferem: a FINEP atuou em um único ano (2020), o BNDES Inovação em sete (2018–2024) e o BNDES Máquinas 4.0 em seis (2019–2024). Sem ajuste, qualquer comparação direta favoreceria artificialmente os programas com maior janela temporal. Por isso, dois procedimentos complementares são adotados: (a) normalização pelo desembolso médio anual, para comparar escala; (b) cálculo do Valor Médio por Operação (VM/Op.), para comparar o perfil de beneficiário.

O VM/Op. é calculado como o total desembolsado (R\$) dividido pelo número de operações com desembolso confirmado. Quanto maior o VM/Op., mais o programa concentra recursos em contratos individuais de alto valor, o que indica beneficiários de maior porte e capacidade financeira. Quanto menor o VM/Op., mais o programa distribui recursos em muitos contratos pequenos, o que indica maior capilaridade ou atendimento a empresas menores.

Para permitir uma comparação visual e analítica da magnitude desses recursos, é imprescindível aplicar uma normalização temporal. Isso porque mais um eixo de diferenciação entre os materiais analisados é o período de operação: a FINEP operou via edital único no ano de 2020 (Chamada Pública 04/2020), contratando 144 projetos ao comprometer R\$ 228,97 milhões.

Os volumes brutos acumulados, com a ressalva metodológica de que são incomparáveis de forma direta, foram: o BNDES Inovação Indústria acumula R\$ 4.409,6 milhões; o Máquinas 4.0, R\$ 627 milhões; e a FINEP, R\$ 229 milhões (Figura 2 - esquerda). Na Figura 2, o painel da direita apresenta a média anual de cada programa, o que permite comparar o volume por ano de operação.

Figura 2 - Análise Comparativa dos Programas de Financiamento: Desembolso Total Acumulado vs. Desembolso Médio Anual



Fonte: FINEP (Chamada Pública 04/2020), BNDES Máquinas 4.0 (2018-2024) e BNDES Inovação Indústria (2019-2024). Elaboração própria.

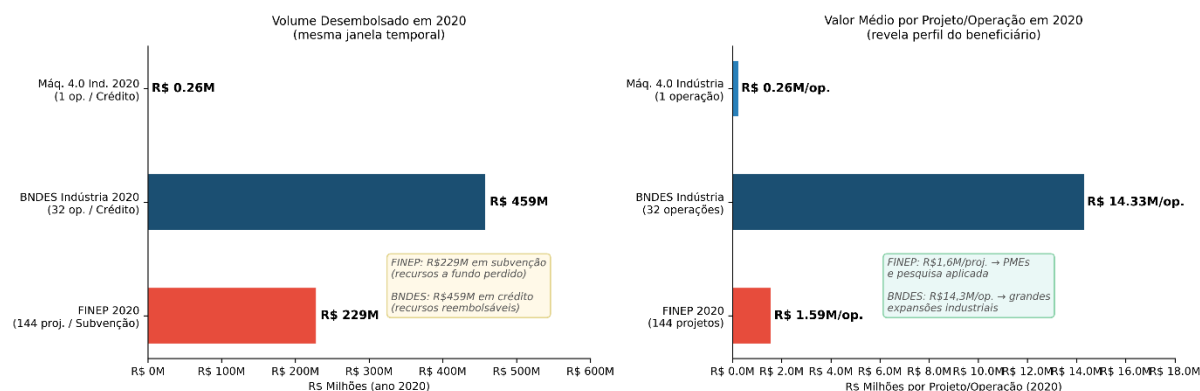
Nesta perspectiva, a FINEP mantém o volume de R\$ 228,97 milhões (base unitária de um ano), enquanto o BNDES Inovação Indústria apresenta média de R\$ 626 milhões/ano e o BNDES Máquinas 4.0, R\$ 104 milhões/ano. Calculadas as médias anuais, o volume anual do BNDES Inovação supera o da FINEP em 3,6 vezes.

Os dados de VM/Op. mostram o perfil de beneficiário de cada instrumento: o BNDES Inovação registra R\$ 6,59 milhões por operação, enquanto a FINEP registra R\$ 1,59 milhão, razão de 4,15 vezes. O BNDES Máquinas 4.0 fica no meio-termo, com R\$ 3,48 milhões. Esse diferencial não é uma falha dos programas: indica que os instrumentos estão em segmentos distintos do mercado de inovação, atendendo perfis de empresa e fases do processo inovativo diferentes.

A coexistência de instrumentos com VM/Op. distintos é condição necessária para a cobertura dos diferentes estágios do ciclo inovativo (Lundvall, 1992; Edquist, 1997). O dado mais relevante, nessa lógica, não é a diferença entre os programas: é o intervalo entre eles. Empresas que já cresceram além do perfil FINEP mas ainda não têm porte para os contratos típicos do BNDES Inovação ficam sem cobertura adequada.

Além do desembolso total, entender o perfil dos beneficiários e a eficiência alocativa exigem o exame do valor médio por operação. A Figura 3 restringe a comparação ao ano de 2020. [Nota metodológica: a inclusão de 2020 nesta figura tem propósito analítico específico: é o único ano com operações simultâneas nos três programas, permitindo comparação direta de escala. O caráter atípico do ano (pandemia de COVID-19) é discutido na seção 2.1.8 e na análise da Figura 2.] Nesse exercício, a FINEP comprometeu R\$ 228,97 milhões em 144 projetos; o BNDES Inovação Indústria desembolsou R\$ 458,52 milhões em 32 operações; e o BNDES Máquinas 4.0 realizou apenas R\$ 0,26 milhão. Assim, em 2020, a subvenção da FINEP equivaleu a metade do crédito disponibilizado pelo BNDES Indústria.

Figura 3 - Comparação Direta no Mesmo Ano (2020): Volume Desembolsado e Valor Médio por Operação



Fonte: FINEP (Chamada Pública 04/2020), BNDES Máquinas 4.0 (2018-2024) e BNDES Inovação Indústria (2019-2024). Elaboração própria.

O dado de R\$ 0,26 milhão e uma única operação no ano inteiro do BNDES Máquinas 4.0 revela o comportamento do setor industrial e a maturidade do próprio programa. Isso provavelmente ocorreu por dois motivos centrais: (i) a pandemia e (ii) a fase de implantação. O ano de 2020 foi o epicentro da pandemia de COVID-19. Em momentos de crise severa e queda de demanda, as empresas reduzem drasticamente ou paralisam investimentos em ativos fixos (como a compra de máquinas e equipamentos avançados) que não sejam estritamente necessários à sobrevivência de curto prazo (IPEA, 2021).

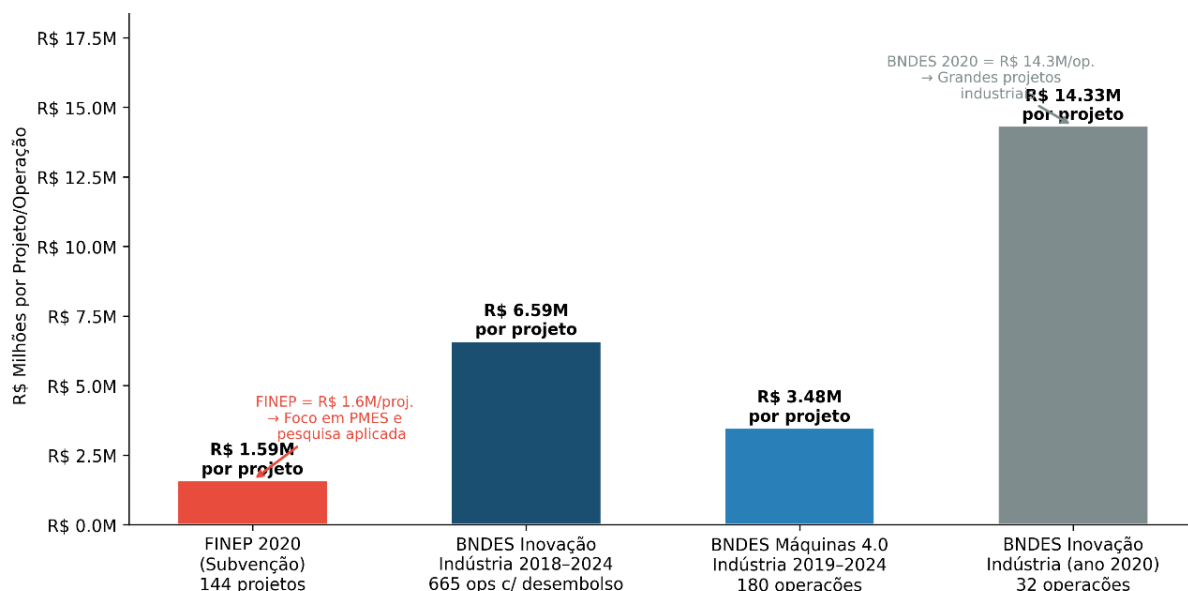
Os dados do BNDES Setorial comprovam que, em 2020, houve uma explosão na busca por linhas emergenciais e de capital de giro para garantir liquidez, esvaziando a demanda por instrumentos de aquisição tecnológica e difusão (Inhudes et al., 2024; BNDES, 2024). Além disso, tratando-se de um instrumento lançado entre 2019 e 2020, o BNDES Máquinas 4.0 encontrava-se em fase embrionária. A exigência de que os bens de capital fossem previamente validados e credenciados como "tecnologia 4.0" (sensores, IoT, etc.) no sistema do banco criou um natural *delay* de adaptação.

A Figura 4 apresenta o Valor Médio por Operação (VM/Op.) de cada programa no tempo integral de operação. A FINEP 2020 registra R\$ 1,59 milhão por operação, o menor valor unitário entre os três. O BNDES Inovação chega a R\$ 6,59 milhões, 4,15 vezes o valor da FINEP. O BNDES Máquinas 4.0 fica entre os dois, com R\$ 3,48 milhões (razão de 2,2 vezes em relação à FINEP).

Na literatura de sistemas de inovação (Lundvall, 1992; Edquist, 1997), diferentes instrumentos de política devem cobrir diferentes falhas sistêmicas. A razão de 4,15x entre o valor médio BNDES Inovação e FINEP sugere que os dois instrumentos estão, de fato, em segmentos de mercado distintos. Se a razão fosse próxima de 1, os programas estariam

disputando os mesmos beneficiários; se fosse 50x, haveria um vácuo de empresas intermediárias sem instrumento adequado.

Figura 4 - Valor Médio por Projeto/Operação — Comparação entre Programas



Fonte: FINEP (Chamada Pública 04/2020), BNDES Máquinas 4.0 (2018-2024) e BNDES Inovação Indústria (2019-2024). Elaboração própria.

Assim, dimensionados os recursos e caracterizados os instrumentos, a análise avança para o conteúdo do que foi financiado.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS INOVAÇÕES E MAPEAMENTO TECNOLÓGICO

Esta seção avalia em que medida o financiamento público à I4.0 no Brasil contemplou tecnologias realmente habilitadoras da quarta revolução industrial. O critério central de análise é a distinção entre inovações genuínas e mera adoção de soluções já consolidadas.

4.2.1 Linhas Temáticas e Áreas Tecnológicas da I4.0

4.2.1.1 Na Subvenção (FINEP 2020)

A distribuição dos projetos FINEP pelas quatro Linhas Temáticas do edital aparece na Tabela 1. Das 702 propostas submetidas, foram aprovadas para financiamento 166 propostas, distribuídas entre: Indústria 4.0 (51 projetos), Agro 4.0 (51 projetos), Saúde 4.0 (45

projetos) e Cidades Inteligentes (19 projetos), resultando em 144 contratos efetivamente formalizados (22 projetos aprovados não chegaram a assinar contrato).

Tabela 1 - Distribuição das propostas submetidas e financiadas por linha temática no edital FINEP Tecnologias 4.0

Linha	Financiadas	Classificadas_Sem_Recurs o	Indeferidas	Total_Submetida s
Agro 4.0	51	30	73	154
Cidades Inteligentes	19	17	103	139
Indústria 4.0	51	45	140	236
Saúde 4.0	45	35	93	173

Fonte: FINEP (Chamada Pública 04/2020). Elaboração própria.

A distribuição equilibrada entre Indústria 4.0 e Agro 4.0 (com 51 projetos cada) não é acidental: reflete uma opção deliberada de política pública por não hierarquizar verticalmente os setores beneficiários dentro do edital (Finep, 2020). Além disso, o documento do Ministério da Agricultura e MCTI (Brasil, 2021) confirma o esforço do Estado em criar a "Câmara Interministerial do Agro 4.0", colocando o agro no mesmo nível de prioridade da indústria de transformação. No Agro 4.0, a agricultura de precisão já é uma realidade impulsionada pelo mercado, envolvendo o uso intensivo de alta tecnologia para garantir os rendimentos esperados pela produção agrícola (Embrapa; SP Ventures; Homo Ludens, 2024).

Afinal, o agronegócio representa parte importante da economia brasileira e é o principal vetor de superávit da balança comercial do país. O resultado positivo de 2,3% do Produto Interno Bruto (PIB) divulgado em 03 de março de 2026 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) foi impulsionado especialmente pela agropecuária, que registrou um crescimento de 11,7% em 2025 (Moura, 2026).

Portanto, o edital da Finep reconhece que aplicar tecnologias de I4.0 (Big Data, IoT) é uma necessidade de Estado para garantir a segurança alimentar global e a competitividade da principal âncora econômica do Brasil. No caso da Saúde 4.0 (com 45 projetos financiados), também distribuído de forma quase equivalente ao Agro 4.0 e Indústria 4.0, Inhudes et al. (2024) explicam que o Complexo Econômico-Industrial da Saúde (Ceis) já se caracteriza historicamente como um motor de inovação radical, possuindo alta densidade tecnológica e a necessidade de integrar engenharia, informática e ciências biomédicas em suas atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I).

Por outro lado, a participação modesta de Cidades Inteligentes (19 projetos, 11,4% do total) merece interpretação: esse segmento é predominantemente dominado por startups de base tecnológica e consórcios público-privados, não por empresas industriais em sentido estrito, público-alvo prioritário da chamada FINEP. A menor taxa relativa de aprovação nessa linha pode refletir menor adequação das propostas ao perfil do edital, e não necessariamente menor relevância da temática.

Por exemplo, o Edital Finep 04/2020 estabeleceu tetos de financiamento diferentes para as linhas. Enquanto Indústria 4.0, Agro 4.0 e Saúde 4.0 podiam solicitar até R\$ 15 milhões, os projetos de Cidades Inteligentes estavam limitadas a R\$ 5 milhões. Isso pode indicar que a própria agência já previa que o público-alvo dessa linha seria composto por projetos de menor porte financeiro, como *startups* ou provas de conceito, não se equiparando ao capex da indústria estrito senso.

De forma comparativa, o Plano de Ação 2026 da ABDI, enquanto possui projetos estruturados para a I4.0 prevendo milhares de beneficiados, tem o "Projeto Cidades Inteligentes" da ABDI com previsão de atender apenas seis beneficiários. Isso ocorre provavelmente porque, no tema de Cidades Inteligentes, o "público-alvo" não é uma massa de indústrias, mas sim entes muito específicos (como agentes públicos, municípios e consórcios).

Contudo, tal descompasso entre as verticais de fomento pode refletir uma menor atenção ao tema. Autores como Ottonicar e Valentim (2019) apontam que, enquanto países como o Canadá já orientam suas políticas para a transformação de centros urbanos em "cidades inteligentes" utilizando a Indústria 4.0 em prol da sociedade, no Brasil as políticas públicas ainda lutam com o básico, focando primariamente na melhoria e expansão da conectividade de banda larga.

4.2.1.2 No Crédito (BNDES)

Agora, apresentando as linhas e áreas tecnológicas do BNDES, no BNDES Inovação Indústria (Tabela 2), a área de Processos Inteligentes (subsetor Química e Petroquímica) lidera em valor com R\$ 1.407 milhões (31,9% do total desembolsado ao setor industrial), seguida por Robótica e Automação (subsetor Mecânica, R\$ 960 milhões, 21,8%) e Sistemas Inteligentes de Transporte (subsetor Material de Transporte, R\$ 936 milhões, 21,2%). Essas três áreas concentram 74,9% do financiamento BNDES à Indústria de Transformação. A Tabela 2 apresenta as 682 operações com desembolso confirmado: 665 referentes à Indústria de Transformação (das 784 registradas no Quadro 4, excluídas as 119 sem desembolso em 2018)

e 17 relativas à Indústria Extrativa. Somadas, totalizam R\$ 4.409,6 milhões, valor compatível com as 801 operações contratadas no Quadro 4 (784 Ind. Transformação + 17 Ind. Extrativa), pois as 119 operações excluídas não registraram desembolso no período.

Tabela 2 - Distribuição das operações, desembolsos e valor médio por operação do BNDES Inovação Indústria por área tecnológica associada à Indústria 4.0

Área I4.0 / Subsetor	Nº Operações	Desembolso (R\$)	Valor Médio/Op (R\$)	% do Total
Processos Inteligentes (Química/Energia)	87	1,407,070,126,90	16.173.219,85	31,9
Robótica e Automação	137	959.578.831,24	7.004.225,05	21,8
Sistemas Inteligentes de Transporte	55	935.503.569,10	17.009.155,80	21,2
IoT Agroindustrial e Rastreabilidade	61	507.278.198,60	8.316.036,04	11,5
Sistemas Integrados de Manufatura	193	359.573.907,02	1.863.077,24	8,2
Manufatura Avançada	109	168.326.051,54	1.544.275,70	3,8
Processos Digitais de Produção	23	46.574.037,07	2.024.958,13	1,1
Processos Inteligentes (Energia)	17	25.674.200,00	1.510.247,06	0,5
TOTAL / MÉDIA	682	4.409.578.921,47	6.465.658,24	100

Fonte: BNDES Inovação Indústria (2018–2024). Elaboração própria.

A liderança da indústria química reflete a necessidade de otimização de processos contínuos de altíssimo custo. A indústria química brasileira é ampla e heterogênea, mas sofre com ociosidade e forte pressão competitiva externa. Por isso, os investimentos recentes desse setor priorizam o que o BNDES classifica como "Processos Inteligentes": a busca por ganhos urgentes de produtividade, eficiência energética, descarbonização e adequação ambiental (BNDES, 2025b).

De forma prática, as indústrias químicas, energéticas e de combustíveis lidam com o processamento ininterrupto de fluidos, gases e reações químicas. Nesses setores, a digitalização não ocorre predominantemente pela inserção de "braços robóticos", mas sim por meio de sensores avançados (IoT), Big Data, computação em nuvem e Inteligência Artificial integrados para monitorar, simular e otimizar a planta industrial [unidade fabril, em PT-BR] em tempo real REF).

Um exemplo prático da adoção desses processos inteligentes é a implementação de Gêmeos Digitais (*Digital Twins*) em refinarias. A Petrobras aplicou gêmeos digitais para

otimizar o desempenho de suas refinarias e plantas químicas associadas, conseguindo antecipar falhas no planejamento de manutenção e reduzindo os custos operacionais em até 25% (Petrobras, 2019). Outro exemplo é a gigante alemã BASF, que implementou o sistema em larga escala em suas plantas e, com a tecnologia, conseguiu reduzir em 15% o consumo de energia e aumentar a eficiência produtiva em 20% (BASF, 2019). Esses resultados corroboram a análise de Silva et al. (2023) sobre a integração de processos e automação industrial em plantas químicas, que demonstra ganhos significativos de eficiência energética e operacional quando tecnologias digitais são incorporadas ao chão de fábrica. Programas como o BNDES Inovação mostram-se, portanto, instrumentos estratégicos para viabilizar essa transição tecnológica.

Ainda, em segundo lugar em termos de desembolso total no BNDES Inovação, tem-se Robótica e Automação. A robótica avançada abrange máquinas autônomas, colaborativas e flexíveis que se comunicam entre si. Financiar essa área significa financiar o setor que "fabrica as máquinas para os outros setores". Segundo Betarelli Junior et al. (2020), a indústria possui maior intensidade de capital e atua como uma fonte fundamental de inovações, pois a tecnologia absorvida e incorporada em novas máquinas e equipamentos (robôs) permite ganhos exponenciais de produtividade que se disseminam para o resto da economia.

Em terceiro lugar está o setor de transportes. Pereira e Simonetto (2018), apoiando-se em diagnósticos institucionais da FIRJAN e da ABDI, apontam que a indústria automotiva nacional é, na prática, a que mais se aproxima dos avanços característicos da Indústria 4.0. Essa posição de destaque decorre de uma combinação de fatores estruturais: por um lado, Plattek, Villarim e Cavalcanti (2025) destacam que o setor é formado por grandes empresas globais com elevada capacidade de investimento, boa gestão financeira e práticas modernas de produção, o que permite absorver os altos custos da modernização do chão de fábrica. Por outro lado, Vermulm (2018) argumenta que os impactos da Indústria 4.0 são mais intensos nas indústrias de montagem do que nas de processo contínuo, uma vez que a digitalização permite alta flexibilização produtiva e customização em massa sem perda de escala.

Além disso, o setor automotivo está submetido a ciclos de produtos cada vez mais curtos, o que eleva a necessidade constante de investimentos em engenharia (BNDES, 2026c). A transição tecnológica global voltada à descarbonização exige o desenvolvimento de plataformas para veículos elétricos e híbridos flex (Plattek; Villarim; Cavalcanti, 2025; BNDES, 2026). Nesse cenário, programas governamentais como o "Mover" e legislações ambientais restritivas, como o Proconve L8/P8, respondem por parte relevante dos investimentos projetados, forçando as montadoras a incorporar alta tecnologia nos processos

(BNDES, 2026). Na prática, a digitalização desse setor não afeta apenas a fábrica, mas revoluciona a mobilidade urbana e a logística.

Assim como no BNDES Inovação, os Processos Inteligentes também estão em destaque no BNDES Máquinas 4.0 Indústria (Tabela 3), ainda que o perfil seja distinto: em número de operações, lideram Manufatura Avançada (subsetor Borracha e Plástico, 40 operações) e Robótica e Automação (subsetor Máquinas e Equipamentos, 24 operações), refletindo a vocação do programa para a aquisição de bens de capital voltados à automação da linha de produção. Em valor, contudo, destacam-se IoT Agroindustrial (Produtos Alimentícios, R\$ 182 milhões) e Processos Inteligentes/Energia (Coque, Petróleo e Combustível, R\$ 114 milhões), resultado que expressa a escala das operações individuais nesses subsectores, não sua frequência.

Tabela 3 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Máquinas 4.0 por área tecnológica associada à Indústria 4.0

Área I4.0 / Subsetor	Nº Operações	Desembolso (R\$)	Valor Médio/Op (R\$)	% do Total
IoT Agroindustrial e Rastreabilidade	20	182.419.512,57	9.120.975,63	29,1
Manufatura Avançada	88	124.196.855,51	1.411.327,90	19,8
Processos Inteligentes (Energia)	5	113.886.540,60	22.777.308,12	18,2
Sistemas Inteligentes de Transporte	16	92.388.711,48	5.774.294,47	14,7
Robótica e Automação	25	74.167.395,72	2.966.695,83	11,8
Processos Inteligentes (Química)	3	16.872.000,00	5.624.000,00	2,7
Processos Digitais de Produção	18	15.360.237,44	853.346,52	2,5
Manutenção Preditiva / IoT	5	7.448.649,45	1.489.729,89	1,2
TOTAL / MÉDIA	180	626.739.902,77	3.481.888,35	100,0

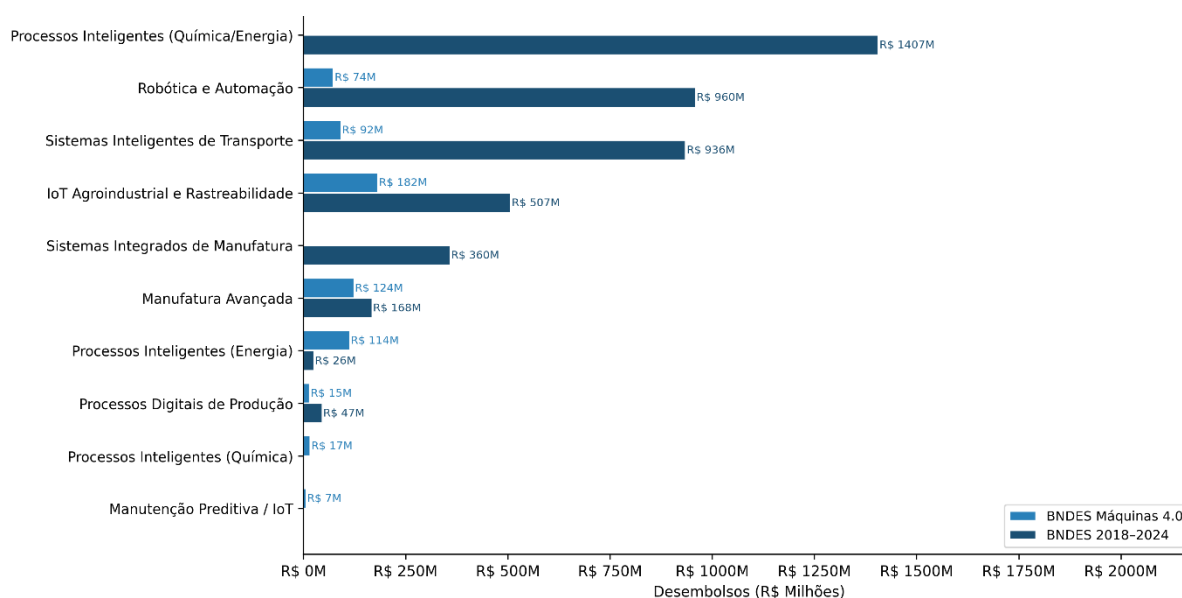
Fonte: BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). Elaboração própria.

Em termos de desembolso total no programa BNDES Máquinas 4.0, a “IoT Agroindustrial e Rastreabilidade” e Manufatura Avançada despontam como as duas principais áreas tecnológicas financiadas. Esse resultado comprova que a principal força motriz da modernização produtiva brasileira atual não é a criação de tecnologias de fronteira do zero, mas sim a inovação por difusão.

Em terceiro lugar, os Processos Inteligentes (Energia) concentram apenas cinco operações, mas absorvem volume financeiro expressivo (R\$ 114 milhões), o que indica que a

modernização do setor energético via Indústria 4.0 possui barreira de entrada financeira elevada, justificando por que apenas poucas empresas de grande porte conseguem acessar tais montantes (Saliba, 2022; Dunham et al., 2025). A Figura 5 estende essa análise ao comparar simultaneamente os dois programas, evidenciando as distinções nas áreas tecnológicas priorizadas pelo BNDES Inovação e pelo BNDES Máquinas 4.0.

Figura 5 -Mapeamento das áreas tecnológicas da Indústria 4.0 nos desembolsos do BNDES para a Indústria de Transformação (2018–2024)



Fonte: BNDES (2018–2024). Elaboração própria a partir da correspondência entre subsetores CNAE/BNDES e áreas tecnológicas da Indústria 4.0 com base nas taxonomias ProFuturo (2019) e ABDI (2016).

A Figura 5 confirma que os dois programas concentram recursos em distintas áreas tecnológicas da Indústria 4.0. No BNDES Inovação, os maiores volumes se concentram em Processos Inteligentes (setores químico e energético) e em Robótica e Automação (setor mecânico), refletindo a prioridade de projetos de P&D de longo prazo em segmentos de alta intensidade tecnológica. No BNDES Máquinas 4.0, as maiores participações em desembolso recaem sobre IoT Agroindustrial (Produtos Alimentícios) e Processos Inteligentes (Energia), ainda que o número de operações seja liderado por Manufatura Avançada e Robótica e Automação. Essa configuração confirma a complementaridade dos dois instrumentos: enquanto um financia a geração de inovação em setores intensivos em P&D, o outro viabiliza a difusão de tecnologias digitais ao longo da estrutura industrial brasileira.

4.3 ANÁLISE DISTRIBUTIVA E SETORIAL DOS PROGRAMAS

Esta seção atende ao objetivos de pesquisa **3** ao mapear sistematicamente a dimensão distributiva do financiamento à Indústria 4.0 no Brasil, respondendo como os recursos se alocaram entre setores, regiões e portes de empresa ao longo do período analisado.

4.3.1 Montantes Investidos e Setores Industriais Contemplados

4.3.1.1 O BNDES no conjunto: escala industrial vs. volume de operações

A Tabela 4 contextualiza a Indústria de Transformação no universo total do BNDES Inovação (2018–2024). Das 8.407 operações totais do programa (incluindo 1.580 registradas em 2018 e parcialmente em 2022 sem dados de desembolso disponíveis), a Agropecuária domina em número: 6.028 registros (71,7%), com R\$ 5.123 milhões desembolsados (43,1% do valor total).

Tabela 4 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Inovação por setor CNAE (2018–2024)

Setor CNAE	Nº Registros	Nº c/ Desembolso	Desembolso (R\$ M)	R\$ M/Op.	% Nº Reg.	% Desembolso
Agropecuária	6.028	4.993	5.123,3	1,03	72	43,1
Indústria de Transformação	784	665	4.383,9	6,59	9	36,9
Comércio e Serviços	1.449	1.152	2.354,4	2,04	17	19,8
Indústria Extrativa	17	17	25,7	1,51	0	0,2
Outros / Não Classificado	129	0	0,0	0,00	2	0,0
TOTAL	8.407	6.827	11.887,3	1,74	99	100,0

Nota: Nº Registros = total de operações registradas em todas as atividades do programa BNDES Inovação (2018–2024), incluindo 1580 sem desembolso (ano 2018 e parte de 2022). R\$ M/Op. = Desembolso (R\$ M) ÷ Nº c/ Desembolso; exclui operações sem dado confirmado. Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES Inovação (2018-2024).

O Comércio e Serviços responde por 1.449 operações (17,2%) e R\$ 2.354 milhões (19,8%). A Indústria de Transformação, por sua vez, responde por apenas 784 operações (9,3%) mas mobiliza R\$ 4.384 milhões (36,9% do valor financeiro total). A Indústria Extrativa completa o quadro com 17 operações (0,2%) e R\$ 26 milhões desembolsados.

Essa assimetria entre participação em número (9,3%) e participação em valor (36,9%) é o primeiro achado setorial relevante. A coluna R\$ M/Op. da Tabela 4, calculada sobre as

operações com desembolso confirmado, torna o contraste preciso: a Indústria de Transformação acessa o BNDES Inovação em operações de grande escala individual (R\$ 6,59M/op. em média, 665 ops confirmadas), enquanto a Agropecuária o acessa em volume de operações unitárias menores (R\$ 1,03M/op., 4.993 ops confirmadas).

O Comércio e Serviços ocupa posição intermediária (R\$ 2,04M/op.). A razão Indústria/Agropecuária é de 6,4:1, ou seja, cada operação industrial mobiliza, em média, 6,4 vezes mais recursos do que uma operação agropecuária. Para o financiamento da I4.0, isso significa que o crédito BNDES ao setor industrial é um instrumento concentrado em projetos de grande porte e alta capitalização, e não um mecanismo de ampla capilaridade setorial.

A hierarquia dos setores industriais que mais recebem desembolsos não mudou substancialmente ao longo do tempo, refletindo uma forte continuidade estrutural da matriz econômica brasileira e da própria lógica de atuação do banco. Historicamente, desde as fases de aprofundamento da substituição de importações entre as décadas de 1950 e 1970, o BNDES já concentrava a maior parte de seus financiamentos industriais nestas mesmas bases: indústrias de base e pesada (como a química), bens de capital (mecânica) e bens de consumo duráveis (como o setor automotivo e de transportes) (Doctor, 2014).

O crédito reembolsável, por definição, não é o instrumento para pulverizar recursos entre novos entrantes. Ele chega onde já existe capacidade de endividamento e consolida quem já tem escala. Isso explica por que o BNDES Inovação financia a transição digital da indústria pesada, não o surgimento de novas indústrias. Para isso, seriam necessários outros instrumentos: subvenção, garantias de risco ou compras públicas direcionadas.

E no BNDES Máquina 4.0 (Quadro 4), das 398 operações totais do programa, 180 (45,2%) pertencem à Indústria de Transformação, proporção quase cinco vezes superior aos 9,3% observados no BNDES Inovação, confirmando a vocação do instrumento para a manufatura.

O salto para 45,2% no BNDES Máquinas 4.0 comprova que a vocação da manufatura exige a aquisição de ativos físicos e bens de capital tangíveis (máquinas, robôs, equipamentos CNC com sensores embarcados). Como aponta (Vermulm, 2018), a política de desenvolvimento industrial não pode depender apenas do fomento à P&D radical; ela precisa viabilizar a "difusão" de tecnologias habilitadoras. O BNDES Máquinas 4.0 atua exatamente nessa materialidade, sendo a "correia de transmissão" que permite à indústria tradicional modernizar seu maquinário defasado.

O Brasil sofre com um fenômeno histórico de desindustrialização precoce, que corrói o nível tecnológico da matriz produtiva (Morceiro; Guilhoto, 2023). Ao direcionar quase metade

de um programa específico para a Indústria de Transformação, conforme demonstram (Dunham et al., 2025), esse direcionamento de capital para a aquisição de bens 4.0 é o mecanismo prático pelo qual o BNDES atua para adensar a complexidade tecnológica do parque fabril existente, consolidando o programa como o principal vetor da estratégia de neoindustrialização no país.

4.3.1.2 Subsetores da Indústria de Transformação no BNDES Inovação

A Tabela 5 detalha as 784 operações e R\$ 4.384 milhões do BNDES Inovação direcionados à Indústria de Transformação. A Indústria de Transformação no Brasil passou por um processo de desindustrialização precoce nas décadas anteriores (Rodrik, 2016; Morceiro; Guilhoto, 2023), contexto que justifica o direcionamento específico de instrumentos de fomento para este setor no âmbito da agenda de reindustrialização 4.0., distribuídos entre subsectores da CNAE e ordenados por valor médio por operação (R\$ M/Op.) em ordem decrescente: da operação mais intensiva em capital à mais difusora. Essa ordenação permite visualizar a existência de uma estrutura dual no instrumento de crédito, na qual convivem projetos de alta escala e iniciativas mais pulverizadas.

Tabela 5 - Distribuição das operações e desembolsos do BNDES Inovação na Indústria de Transformação por subsector CNAE (2018–2024)⁵

Subsector CNAE Agrupado	Nº Operações	Desembolso (R\$ M)	R\$ M/Op.	% Nº Op.	% Desembolso
Farmoquímico, Farmacêutico	89	979,6	20,84	11	22,3
Equip Info, Eletrônico, Ótico	59	691,2	15,03	8	15,8
Outros Equip Transporte	18	561,9	31,22	2	12,8
Produtos Alimentícios	64	507,3	8,32	8	11,6
Coque, Petróleo E Combustível	26	374,7	14,99	3	8,5
Veículo, Reboque E Carroceria	52	373,6	10,10	7	8,5
Máq, Aparelho Eletrico	23	147,1	12,26	3	3,4
Máquinas E Equipamentos	96	121,3	1,54	12	2,8
Produto De Metal	68	104,2	1,53	9	2,4
Borracha E Plástico	75	102,3	1,44	10	2,3
Mineral Não Metálico	46	80,9	1,76	6	1,8
Manutenção, Reparação, Instal.	38	59,5	1,57	5	1,4

Subsetor CNAE Agrupado	Nº Operações	Desembolso (R\$ M)	R\$ M/Op.	% Nº Op.	% Desembolso
Produtos Diversos	17	57,8	4,13	2	1,3
Química	18	52,8	3,52	2	1,2
Celulose E Papel	28	46,6	2,03	4	1,1
Metalurgia	18	35,1	1,95	2	0,8
Madeira	10	30,0	3,33	1	0,7
Têxtil	20	25,7	1,28	3	0,6
Gráfica	8	23,3	2,91	1	0,5
Móveis	8	5,9	0,84	1	0,1
Confec, Vestuário E Acessórios	3	3,3	1,10	0	0,1
Total	784	4.384,1	6,59	100	100,0

Nota: Nº Operações = total de operações registradas para o setor CNAE “Indústria de Transformação”, incluindo 119 operações sem desembolso (2018). R\$ M/Op. = Desembolso (R\$ M) ÷ número de operações com desembolso confirmado (N = 665). Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES (2025). Fonte: BNDES Inovação Indústria (2018–2024). Elaboração própria.

No topo da tabela, sete subsectores apresentam os maiores valores médios por operação, caracterizando projetos de maior escala: Outros Equipamentos de Transporte, Farmoquímico e Farmacêutico, Equipamentos de Informática, Eletrônicos e Ópticos, Coque e Combustível, Máquinas e Aparelhos Elétricos, Veículos e Reboques e Produtos Alimentícios. Em conjunto, esses subsectores respondem por apenas 29,1% das operações, mas concentram 62,5% do valor total desembolsado, evidenciando uma forte assimetria entre a frequência das operações e o volume de recursos mobilizados. Essa desproporção entre escala e número de projetos constitui o principal resultado analítico observado na tabela.

A predominância de investimentos associados à mecânica e ao material de transporte, particularmente no setor automotivo, também corrobora a análise de Pereira e Simonetto (2018), segundo a qual grande parte da indústria brasileira ainda transita entre as bases tecnológicas da segunda e da terceira revoluções industriais. A partir disso, o setor automotivo aparece como um dos segmentos que mais se aproxima da incorporação prática de tecnologias associadas à Indústria 4.0.

Apesar do volume significativo de recursos direcionados a esses subsectores de maior escala, os indicadores mais recentes da produção industrial revelam movimentos heterogêneos entre os segmentos. Segundo o relatório mais recente da Pesquisa Industrial Mensal (PIM) do

IBGE, o setor de fabricação de coque, produtos derivados do petróleo e biocombustíveis apresentou crescimento de 5,4%, sendo o terceiro maior crescimento observado, atrás apenas do setor farmacêutico (6,7%) e de impressão e reprodução de gravações (5,8%) (IBGE, 2025b). Em contrapartida, em dezembro de 2025, a fabricação de veículos automotores, reboques e

Nesse conjunto de subsetores de maior intensidade tecnológica e de capital, o caso da indústria farmacêutica merece destaque específico. A elevada demanda por crédito nesse setor não constitui um fenômeno isolado, mas resulta de mais de duas décadas de políticas públicas direcionadas ao fortalecimento da capacidade tecnológica da indústria nacional, como o BNDES Profarma e o programa Inova Saúde (Palmeira Filho et al., 2012; Meirelles et al., 2020). Esses autores explicam que o financiamento estatal foi determinante para permitir que a indústria farmacêutica brasileira evoluísse de um modelo baseado predominantemente na produção de medicamentos genéricos para estratégias de desenvolvimento de inovações incrementais.

Dados da Pesquisa de Inovação (Pintec) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística indicam que os investimentos em P&D da indústria farmacêutica cresceram de 1,4% da receita líquida em 2008 para 3,5% em 2022 (IBGE, 2024). Em perspectiva comparativa, a média de investimento em P&D de toda a indústria de transformação brasileira variou entre apenas 0,5% e 0,61% no mesmo período. Isso indica que o setor farmacêutico investe aproximadamente seis vezes mais em inovação do que a média industrial, o que ajuda a explicar a elevada intensidade financeira das operações observadas na Tabela 5.

Na outra extremidade da distribuição encontram-se os subsetores difusores, caracterizados por operações de menor escala individual. Nessa faixa, o valor médio por operação fica abaixo de R\$ 2 milhões, incluindo Máquinas e Equipamentos (R\$ 1,54M/op., 96 operações (o maior volume em número de projetos)), Produtos de Metal (R\$ 1,53M/op., 68 operações) e Borracha e Plástico (R\$ 1,44M/op., 75 operações), chegando ao setor de Móveis (R\$ 0,84M/op.), que apresenta o menor valor médio da tabela. Esses subsetores representam um padrão de inovação difusa e incremental, caracterizado por grande número de projetos de menor escala, frequentemente acessíveis a empresas de porte médio.

A amplitude observada entre os 21 subsetores da Tabela 5 é de aproximadamente 37 vezes, com variação de R\$ 31,22M/op. em Outros Equipamentos de Transporte a R\$ 0,84M/op. no setor de Móveis. Os subsetores de maior escala, como transporte, farmoquímico e coque, correspondem a segmentos de elevada intensidade de capital e longos ciclos de P&D, enquanto os subsetores de menor escala, como Máquinas e Equipamentos (R\$ 1,54M/op.), Borracha e Plástico (R\$ 1,44M/op.), Confecção (R\$ 1,10M/op.) e Móveis (R\$ 0,84M/op.), refletem

projetos de inovação incremental e difusora. Em termos analíticos, um mesmo instrumento de crédito, portanto, financia projetos de escalas radicalmente distintas dentro da estrutura produtiva.

Esse padrão torna-se ainda mais evidente quando se observa a distribuição das operações entre os elos da cadeia metalmecânica e de bens de capital. Os subsetores de Máquinas e Equipamentos (12,2% das operações) e Produtos de Metal (8,7%) somam, juntos, 20,9% das operações do programa, representando a maior fatia em número de projetos. Trata-se de um segmento estratégico para a Indústria 4.0, pois corresponde ao setor responsável por produzir os equipamentos que modernizam os demais ramos produtivos.

A literatura econômica destaca o papel central desses segmentos na difusão tecnológica. Betarelli Junior et al. (2020) argumentam que a indústria de transformação, em razão de sua elevada intensidade de capital, apresenta grande potencial de ganhos de produtividade associados à incorporação de novas tecnologias em máquinas e equipamentos. Nessa perspectiva, o financiamento à inovação nesses subsetores atua na própria “fonte” da difusão tecnológica, uma vez que avanços na fabricação de equipamentos como centros de usinagem CNC ou braços robóticos tendem a se espalhar posteriormente para diversos outros setores da economia.

Entretanto, mesmo nesses segmentos, os dados da PIM indicam retração recente na produção industrial. Em dezembro de 2025, a fabricação de máquinas e equipamentos apresentou queda de -4,6%, enquanto a fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos, registrou retração de -2,4% (IBGE, 2025b). Esses resultados reforçam a importância do crédito direcionado à inovação como instrumento de estímulo à modernização produtiva.

Outro aspecto que a distribuição das operações revela é o peso de setores tradicionais na demanda por crédito à inovação. Os setores de borracha e plástico (9,6% das operações) e alimentos (8,2%) apresentam participação significativa no programa, : a inovação industrial não se restringe a segmentos de alta tecnologia. Ao contrário, a presença desses setores evidencia a importância da inovação por difusão tecnológica.

A literatura sobre mudança estrutural em economias em desenvolvimento aponta exatamente nessa direção. Lall (2000) e Hirsch-Kreinsen et al. (2005) destacam que setores de baixa e média intensidade tecnológica, frequentemente negligenciados nas análises centradas em tecnologias de fronteira, desempenham papel central na acumulação de capacidades produtivas e no aumento da produtividade agregada. Em contextos como o brasileiro, esses setores constituem importantes canais de absorção e difusão de tecnologias industriais.

Na prática, a dinâmica de inovação nesses segmentos ocorre majoritariamente por meio da adoção de tecnologias já existentes, e não necessariamente por pesquisa científica original.

Esse conjunto de evidências também dialoga com as diretrizes estratégicas da política industrial recente. A presença relevante de segmentos associados à química e aos insumos industriais, por exemplo, reflete aderência à Missão 5 da Nova Indústria Brasil (NIB), voltada à bioeconomia, à descarbonização e à transição energética. Com isso, a indústria química brasileira, operando com níveis significativos de ociosidade e sob forte pressão competitiva internacional, tem utilizado o financiamento público para investir em inovação voltada à eficiência energética, à digitalização de processos e à adequação ambiental (Brasil, 2025e; BNDES, 2026e).

De forma mais ampla, essa configuração operacional do BNDES materializa diretamente os objetivos da Missão 4 da Nova Indústria Brasil, que busca promover a transformação digital da indústria brasileira com vistas ao aumento da produtividade (Brasil, 2025f). Para cumprir esse objetivo e enfrentar o processo de desindustrialização, o banco atua no fortalecimento da densidade tecnológica da matriz produtiva nacional, financiando a integração de tecnologias habilitadoras, como robótica, automação e sistemas digitais, no chão de fábrica de setores industriais já estabelecidos (Dunham et al., 2025).

4.3.1.3 Subsetores do BNDES Máquinas 4.0: pulverização e difusão

Agora focando em BNDES Máquinas 4.0, a Tabela 6 revela um padrão setorial distinto do BNDES Inovação. Das 398 operações totais do programa, 180 (45,2%) pertencem à Indústria de Transformação, proporção quase cinco vezes superior aos 9,3% observados no BNDES Inovação. A distribuição das operações aponta forte variação na escala dos investimentos entre os subsetores industriais.

A amplitude de escala observada é de aproximadamente 31 vezes (R\$ 25,65 milhões por operação no topo da distribuição contra R\$ 0,82 milhão nas menores operações). Subsetores como Outros Equipamentos de Transporte e Coque, Petróleo e Combustíveis realizam poucas operações, mas de valor individual elevado, associadas à automação de processos contínuos e a sistemas industriais de transporte de alto valor unitário.

Tabela 6 - Distribuição das operações e desembolsos do programa BNDES Máquinas 4.0 por setor CNAE (2019–2024)⁶

Sector CNAE	Nº Operações	Nº c/ Desembolso	Desembolso (R\$ M)	R\$ M/Op.	% Nº Op.	% Desembolso
Indústria de Transformação	180	180	626,7	3,48	45	48,1
Comércio e Serviços	141	141	470,1	3,33	35	36,1
Agropecuária	73	73	202,9	2,78	18	15,6
Indústria Extrativa	4	4	2,8	0,70	1	0,2
TOTAL	398	398	1.302,5	3,27	99	100,0

Nota: Nº Operações = total de operações registradas no programa BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). R\$ M/Op. = Desembolso (R\$ M) ÷ Nº c/ Desembolso. Tabela ordenada por valor médio por operação (R\$ M/Op.) em ordem decrescente. Nota: Nº Operações = total de operações registradas para o setor CNAE “Indústria de Transformação”, incluindo 119 operações sem desembolso (2018). R\$ M/Op. = Desembolso (R\$ M) ÷ número de operações com desembolso confirmado (N = 665). Fonte: Elaboração própria a partir de BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). Elaboração própria.

No extremo oposto da distribuição encontra-se o setor de Borracha e Plástico, que representa o perfil inverso. Com 40 operações e valor médio de R\$ 0,82 milhão por projeto, esse subsetor reflete a difusão de máquinas-ferramenta e equipamentos automatizados de pequeno e médio porte ao longo da cadeia produtiva plástica e borracheira, que constitui justamente um dos públicos-alvo centrais do programa.

De forma agregada, a média global de valor por operação do programa é de R\$ 3,48 milhões, aproximadamente 1,9 vezes inferior à observada no BNDES Inovação voltado à indústria (R\$ 6,59 milhões por operação). Esse diferencial confirma que o BNDES Máquinas 4.0 opera predominantemente como um instrumento de difusão tecnológica, voltado à adoção de tecnologias já disponíveis no mercado, e não ao financiamento direto de atividades de P&D avançado.

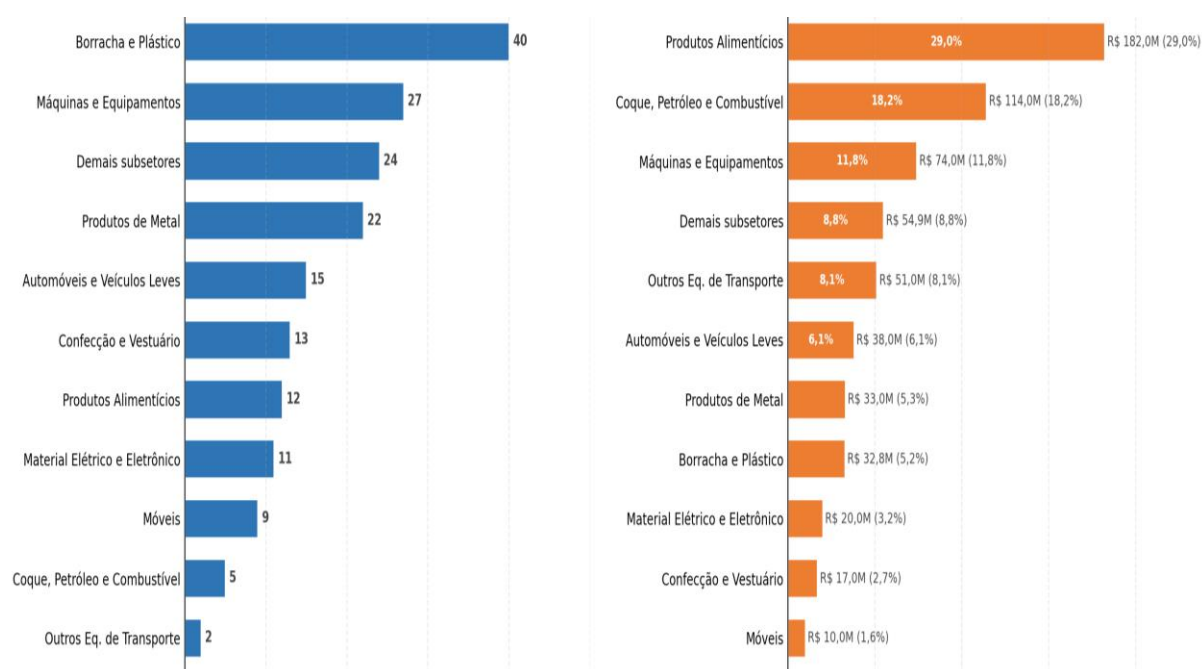
A Figura 6 complementa essa análise ao apresentar o ranking dos subsetores industriais em número de operações. A liderança é ocupada por Borracha e Plástico, seguido por Máquinas e Equipamentos e Produtos de Metal. Esses segmentos representam elos intermediários da cadeia metalmeccânica e apresentam forte utilização de tecnologias produtivas como máquinas de controle numérico (CNC), robôs industriais e sistemas embarcados de automação.

Em valor, contudo, a distribuição inverte: Produtos Alimentícios lidera com R\$ 182 milhões (29,1%), seguido por Coque, Petróleo e Combustível com R\$ 114 milhões (18,2%), dois subsetores que, ao contrário do que o nome do programa poderia sugerir, não são os principais beneficiários em número de operações, mas realizam investimentos individuais de

grande escala em automação de processos. Máquinas e Equipamentos totaliza R\$ 74 milhões (11,8%) e Outros Equipamentos de Transporte, R\$ 51 milhões (8,2%).

Assim, BNDES Máquinas 4.0 desempenha um papel difusor tecnológico mais amplo do que o BNDES Inovação. Ao financiar a aquisição de bens de capital digitais e automatizados, o programa alcança setores industriais, como Borracha, Alimentos e Metalurgia, que raramente acessariam instrumentos voltados diretamente ao financiamento de P&D.

Figura 6 - Desembolsos do programa BNDES Máquinas 4.0 na Indústria de Transformação por subsetor CNAE (2019–2024)



Fonte: BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). Elaboração própria.

Essa configuração indica que a política de financiamento à Indústria 4.0 no Brasil opera por meio de dois mecanismos complementares: de um lado, instrumentos voltados ao desenvolvimento tecnológico mais intensivo em capital e P&D; de outro, instrumentos voltados à difusão e adoção de tecnologias produtivas ao longo da estrutura industrial. Contudo, além da dimensão setorial analisada até aqui, é necessário observar como esses recursos se distribuem territorialmente no país.

4.3.2 A Concentração Regional do Financiamento

A Tabela 7 apresenta o achado regional estrutural desta tese: os três programas analisados reproduzem, de forma consistente e independente do instrumento, a concentração geoeconômica historicamente observada no sistema produtivo e de inovação brasileiro: independentemente do programa, as regiões Sudeste e Sul dominam.

O BNDES Inovação Indústria, o programa de maior volume absoluto de financiamento, apresenta as menores participações relativas para as regiões Norte (2,0%), Centro-Oeste (1,6%) e Nordeste (1,6%). Esse resultado mostra que a ampliação do volume total do programa não implicou maior alcance territorial. Ao contrário, as grandes operações de crédito industrial concentram-se nas regiões com maior capacidade produtiva instalada, aprofundando a assimetria regional.

Tabela 7 - Distribuição regional dos projetos e desembolsos dos programas FINEP Tecnologias 4.0, BNDES Inovação (Indústria de Transformação) e BNDES Máquinas 4.07

Região	FINEP Nº Proj.	FINEP Valor (R\$M)	FINEP % Valor	BNDES Ind. Nº Op.	BNDES Ind. Valor (R\$M)	BNDES Ind. % Valor	Máq.4.0 Ind. Nº Op.	Máq.4.0 Ind. Valor (R\$M)	Máq.4.0 Ind. % Valor
Sudeste	70	114,7	50,1	479	3044	69	107	311,1	49,6
Sul	54	85,6	37,4	237	1139,2	25,8	49	292,8	46,7
Nordeste	10	15,6	6,8	43	69,3	1,6	16	16,6	2,6
Centro Oeste	9	10,8	4,7	25	70,8	1,6	3	1,4	0,2
Norte	1	2,3	1	17	86,3	2	5	4,9	0,8
Total	144	229	100	801	4409,6	100	180	626,7	100

Fonte: FINEP (Chamada Pública 04/2020); BNDES Inovação Indústria (2018–2024); BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024). Elaboração própria.

O Norte, com apenas 15 operações, exibe R\$ 5,61M/op., acima do Nordeste e próximo ao Sul, sugerindo que as poucas empresas nortistas que logram acesso ao programa são relativamente capitalizadas. Isso é interessante, pois o Polo Industrial de Manaus (PIM) movimentou altos investimentos, tendo alcançado recentemente a marca histórica de R\$ 227,67 bilhões de faturamento (Suframa, 2026). Contudo, ao invés de buscar crédito no BNDES para inovação, as empresas de tecnologia do PIM possuem uma dinâmica própria e obrigatória de financiamento à pesquisa.

Através da Lei nº 8.387/1991 (Lei de Informática da Zona Franca de Manaus (ZFM)), as empresas produtoras de bens de informática e automação ganham isenção de IPI e redução de Imposto de Importação, mas, como contrapartida, são obrigadas a investir pelo menos 5% do seu faturamento bruto no mercado interno em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Diferente das empresas do resto do Brasil, as indústrias do PIM têm a obrigação de investir esses 5% integralmente na própria região da Amazônia Ocidental e Amapá, criando um ecossistema de financiamento à inovação que é bancado pelo próprio faturamento das multinacionais.

Assim, essa desigualdade observada é mitigada, ao menos parcialmente, na região Norte. Embora o Brasil possua mecanismos de obrigatoriedade de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) aplicáveis ao Nordeste e ao Centro-Oeste, eles não possuem a mesma "trava geográfica" de retenção exclusiva de capital que beneficia a Amazônia Ocidental. Como resultado, a desigualdade tecnológica nessas duas regiões não é mitigada da mesma forma, mas sim aprofundada.

Para o Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste, aplica-se a Lei de Informática Nacional (Lei nº 8.248/1991). Assim como na ZFM, essa lei concede benefícios fiscais (como redução de IPI) em troca da obrigatoriedade de investimentos em P&D e cumprimento de etapas produtivas locais (Brasil, 1991; De Negri, 2021).

No entanto, há uma diferença crucial: a lei nacional não obriga que o P&D seja investido em uma região subdesenvolvida específica. Como aponta Salerno (2017), a Lei de Informática nacional funciona como um mecanismo para tentar "contrabalançar os efeitos da Zona Franca de Manaus no resto do país". Como as empresas podem escolher onde aplicar esse recurso de P&D fora da ZFM, elas invariavelmente escolhem o Sul e o Sudeste, onde já existem os melhores centros de pesquisa, universidades e infraestrutura de capital humano (Costa, 2024). Logo, o Nordeste e o Centro-Oeste perdem a disputa por esses recursos privados obrigatórios.

Daí resulta que Santos e Silveira (2001) cunharam o conceito de “região concentrada” para descrever o eixo Sul–Sudeste, caracterizado pela maior densidade de infraestrutura, capital produtivo e instituições científicas. Segundo os autores, o processo de modernização do território brasileiro produziu uma seletividade espacial, na qual atividades econômicas mais complexas — incluindo aquelas associadas à inovação tecnológica — tendem a se aglomerar nos espaços que já dispõem de infraestrutura produtiva e logística mais desenvolvida.

Estudos posteriores reforçam esse diagnóstico. Tunes (2015) e Serafim Gomes (2019) apontam que os espaços de inovação e os investimentos governamentais no Brasil apresentam

forte concentração territorial, refletindo a presença predominante de universidades, centros de pesquisa e estruturas corporativas nas regiões Sul e Sudeste. Como consequência, essas regiões mantêm posição de vanguarda nos processos de inovação tecnológica.

De acordo com Costa (2024), essa configuração gera vantagens competitivas cumulativas, que retroalimentam o processo de concentração. A presença simultânea de infraestrutura produtiva, capital humano qualificado e instituições de pesquisa fortalece a capacidade de inovação dessas regiões, dificultando que estados do Norte e do Nordeste consigam competir em condições semelhantes no acesso a recursos de financiamento tecnológico.

Há tentativas institucionais de reduzir essa concentração territorial que, como se vê, têm apresentado resultados limitados. Ibanez (2021), ao analisar os desembolsos da FINEP, mostra que iniciativas voltadas à desconcentração regional do financiamento raramente se concretizam plenamente na prática. Mesmo em editais que reservam cotas específicas, como a destinação de 30% dos recursos para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, as empresas localizadas no Sudeste tendem a obter maior sucesso na aprovação de projetos, em razão de sua maior capacidade institucional para estruturar propostas tecnológicas complexas.

Diante desse cenário, além da dimensão regional da distribuição dos recursos, torna-se relevante compreender quais tipos de empresas conseguem efetivamente acessar esses instrumentos de financiamento. Nesse quadro, a próxima seção examina a distribuição dos beneficiários segundo o porte empresarial.

4.3.3 O Perfil dos Beneficiários pelo Porte Empresarial

A análise do porte das empresas beneficiárias permite compreender quais segmentos do tecido empresarial conseguem acessar os instrumentos públicos de financiamento à inovação. Primeiramente, é importante pontuar que o edital FINEP 04/2020 não contém campo específico de classificação do porte empresarial. Dessa forma, a análise direta do porte das beneficiárias é possível apenas para os programas do BNDES. No caso da FINEP, o perfil das empresas beneficiárias pode ser inferido indiretamente pelo valor médio dos projetos aprovados, que foi de R\$ 1,59 milhão, valor consistente com projetos conduzidos por empresas de pequeno e médio porte.

Essa inferência é reforçada pelo próprio desenho institucional do edital. O edital 04/2020 estabelece que empresas brasileiras de qualquer porte são elegíveis para participar do programa (FINEP, 2020). Entretanto, o valor máximo financiável está vinculado ao

faturamento da empresa, o que já introduz um limite prático para projetos de maior escala. Mais importante ainda é o mecanismo de contrapartida exigido, que funciona como o verdadeiro filtro de acesso ao instrumento.

Nesse modelo, microempresas precisam aportar apenas 5% de contrapartida financeira no projeto. Empresas de pequeno porte devem aportar 10%, enquanto pequenas empresas precisam contribuir com 15%. No caso das médias empresas, a contrapartida exigida é de 20%. Já empresas classificadas como média-grande precisam aportar 50% do valor do projeto, e grandes empresas (com faturamento superior a R\$ 300 milhões) devem aportar contrapartida equivalente a 100% do valor solicitado.

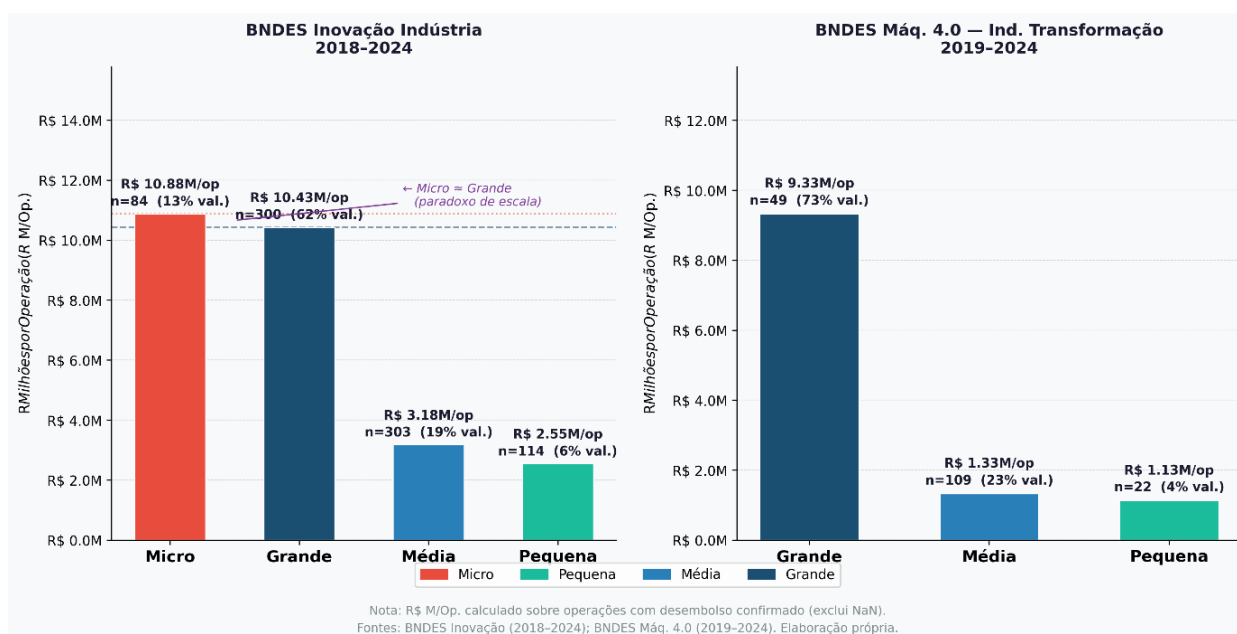
Esse desenho cria um forte incentivo à participação de pequenas e médias empresas. Embora o edital não exclua formalmente empresas de grande porte, o aumento progressivo da contrapartida reduz significativamente a atratividade do instrumento para esse grupo. Assim, a engenharia de incentivos do edital atua como um mecanismo indireto de indução voltado às PMEs.

Complementarmente, a análise do porte empresarial entre os programas do BNDES revela uma configuração distinta. No BNDES Inovação Indústria (Figura 7), a distribuição dos recursos por valor financiado mostra predominância das grandes empresas. Esse grupo concentrou R\$ 2.742 milhões, correspondendo a 62,2% do valor total do programa. As empresas de médio porte responderam por R\$ 837 milhões (19,0%), enquanto micro e pequenas empresas, somadas, representaram 18,8% do valor desembolsado.

Apesar do montante total se concentrar nas grandes empresas, a análise do valor médio por operação revela um padrão distinto: as microempresas apresentam valores médios comparáveis aos das grandes empresas, diferenciando-se significativamente das faixas intermediárias. Considerando que o BNDES Inovação financia projetos de P&D, o valor médio por operação funciona como proxy aproximado da complexidade e da escala tecnológica de cada projeto: quanto maior o aporte, maior a profundidade técnica exigida.

A partir disso, microempresas com valores médios equiparáveis aos das grandes empresas indicam projetos de alta complexidade, o que é inconsistente com o perfil típico de microempresa convencional e sugere que o critério de classificação baseado na Receita Operacional Bruta não captura adequadamente a intensidade tecnológica dos beneficiários.

Figura 7 - Valor médio por operação segundo o porte da empresa nos programas BNDES Inovação (Indústria de Transformação, 2018–2024) e BNDES Máquinas 4.0 (2019–2024)



Fonte: BNDES (2018–2024; 2019–2024). Elaboração própria.

Assim, o alto volume financeiro captado por essa categoria indica a forte presença de *startups* de base tecnológica (*deep techs*). Como elas não possuem receitas recorrentes, demandam aportes milionários (seja via subvenção, crédito ou capital de risco) unicamente para sobreviverem às fases de testes e validação de seus protótipos (IQVIA, 2023).

A literatura sobre inovação organizacional oferece suporte a essa interpretação. Damanpour e Wischnevsky (2006) argumentam que organizações menores, por possuírem estruturas menos hierarquizadas, maior flexibilidade organizacional e cultura empreendedora mais intensa, tendem a atuar como importantes motores de inovação radical ou disruptiva. Essas empresas frequentemente operam na fronteira tecnológica, assumindo os riscos iniciais associados ao desenvolvimento de novas tecnologias (Auerswald e Branscomb, 2003).

Um exemplo dessa dinâmica pode ser observado no setor de saúde, um dos segmentos mais intensivos em inovação tecnológica. Estudos recentes indicam que aproximadamente 90% das pesquisas clínicas iniciais e da descoberta de novas moléculas já não são conduzidas diretamente por grandes corporações farmacêuticas, mas patrocinadas ou realizadas por startups e instituições acadêmicas (Pimentel et al., 2024; IQVIA, 2023).

As grandes empresas, por sua vez, tendem a direcionar seus esforços de pesquisa e desenvolvimento principalmente para inovação incremental. Nesses casos, o objetivo central consiste em aprimorar processos produtivos e produtos já existentes, buscando ganhos de eficiência e manutenção da competitividade de mercado (Sartori, 2011). Quando se trata de tecnologias emergentes ou de ruptura, como aquelas associadas à Indústria 4.0, essas

organizações frequentemente atuam como adotantes tardios ou como agentes de escala comercial. Muitas vezes, elas incorporam essas tecnologias por meio da aquisição ou integração de startups que já superaram as fases iniciais de risco tecnológico (IQVIA, 2023).

No caso do BNDES Máquinas 4.0 Indústria (Figura 7 acima), o padrão observado difere significativamente do BNDES Inovação. Nesse programa, a concentração em grandes empresas é ainda mais pronunciada. Embora representem apenas 27,2% das operações em número, as grandes empresas absorveram R\$ 457 milhões, o equivalente a 72,9% do valor total do programa.

Nesse caso, as empresas de médio porte respondem pela maioria das operações (60,6%), mas concentram apenas 23,1% do valor financiado. Pequenas empresas participam de forma bastante limitada, com R\$ 24,8 milhões (4,0% do total), enquanto a presença de microempresas é inexistente.

Esse padrão é estruturalmente esperado em um programa cujo ativo financiado consiste na aquisição de bens de capital digitais e equipamentos automatizados de alto valor unitário. Máquinas industriais associadas à Indústria 4.0, como centros de usinagem avançados, robôs industriais ou sistemas de automação integrados, exigem investimentos elevados e, frequentemente, garantias reais compatíveis com operações de crédito de maior porte. Microempresas raramente conseguem atender simultaneamente a essas duas condições (IEDI, 2018).

Os três instrumentos analisados apresentam, assim, padrões distintos de acesso empresarial. O edital FINEP 2020, por meio de seu mecanismo de contrapartida, cria incentivos claros à participação de pequenas e médias empresas. O BNDES Inovação, por sua vez, apresenta uma estrutura híbrida, na qual grandes empresas concentram a maior parte dos recursos, mas microempresas tecnológicas também conseguem captar volumes relevantes associados a projetos de alta intensidade tecnológica. Já o BNDES Máquinas 4.0 apresenta perfil mais concentrado em empresas de maior porte, refletindo as barreiras de escala associadas à aquisição de bens de capital industriais.

Esses resultados permitem compreender quem acessa os instrumentos de fomento, mas não indicam, por si só, se os investimentos realizados se converteram efetivamente em inovação na economia. Para avançar nessa questão, torna-se necessário relacionar os padrões de financiamento identificados com indicadores estruturais do desempenho inovativo da indústria brasileira.

4.3.4 Os Investimentos Geraram Inovação? Conexão com a PINTEC 2023

A questão central desta subseção consiste em avaliar se os recursos analisados nas seções anteriores efetivamente resultaram em inovação. Para responder, ainda que de forma parcial, recorre-se à Pesquisa de Inovação (PINTEC, 2023), divulgada pelo IBGE em março de 2025, que mede a taxa de inovação da indústria brasileira (Ferreira, 2025).

Conduzida pelo IBGE, a PINTEC atua como o termômetro microeconômico doméstico da inovação no país. Diferente de índices macroeconômicos, a pesquisa desce ao nível da firma, adentrando o chão de fábrica para aferir a adoção real e efetiva de inovações de produto e processo implementadas pelas empresas brasileiras (IBGE, 2017; Menezes et al., 2017). A taxa de inovação da PINTEC é calculada como o percentual de empresas que efetivamente implementaram inovações de produto e/ou processo em relação ao total de empresas ativas investigadas na amostra.

Para realizar esse cálculo, o IBGE aplica uma pesquisa de campo em uma ampla amostra representativa de milhares de empresas de toda a indústria e setor de serviços nacional, perguntando diretamente aos gestores se houve a introdução de novidades no mercado ou na firma dentro de um período retrospectivo de três anos (ciclo trienal) (De Negri et al., 2016; IBGE, 2017).

A partir disso, a taxa de inovação da indústria de transformação caiu pelo segundo ano consecutivo: de 70,5% em 2021 para 68,1% em 2022 e para 64,6% em 2023 (PINTEC, . Essa queda ocorreu justamente no período em que o BNDES registrou alguns de seus maiores desembolsos históricos voltados à inovação industrial, com R\$ 1,45 bilhão em 2022 e R\$ 1,49 bilhão em 2024.

À primeira vista, esse resultado poderia sugerir que o financiamento público não estaria produzindo impacto sobre o desempenho inovador da indústria. Contudo, antes de concluir pela ineficácia desses instrumentos, é necessário considerar quatro (04) fatores metodológicos e estruturais que condicionam essa relação (Tabela 8).

A primeira consideração refere-se à defasagem temporal entre investimento e resultado inovador. Projetos de inovação industrial possuem ciclos relativamente longos de maturação. Entre a contratação do financiamento, o desenvolvimento ou aquisição da tecnologia, sua integração aos processos produtivos e a geração de resultados mensuráveis em termos de novos produtos ou processos, o intervalo costuma variar entre dois e cinco anos. Nessa perspectiva, Dunham et al. (2025) observam que políticas industriais devem ser compreendidas como

estratégias estruturantes de médio e longo prazo, tornando inadequada a correlação direta entre desembolsos em determinado ano e resultados imediatos no desempenho inovador da indústria.

Tabela 8 - Fatores metodológicos e estruturais que condicionam a relação entre financiamento público e taxa de inovação industrial⁸

Consideração	Argumento
1 — Lag temporal	Desembolsos de 2022–2024 aparecem na PINTEC 2026–2027, não em 2023
2 — Escala relativa	R\$ 627M/ano $\approx$ 1,6% do P&D industrial nacional (R\$ 38,3B); insuficiente para mover o agregado
3 — Concentração nos já-inovadores	Grandes empresas (taxa PINTEC: 73,6%) dominam os desembolsos; PMEs com menor taxa não são alcançadas
4 — Alinhamento setorial	Setores PINTEC mais inovadores (Química 88,7%, Máquinas 88,0%, TI 85,3%) coincidem com os de maior R\$ M/Op. na T5

Fonte: IBGE (PINTEC, 2023); BNDES (2018–2024). Elaboração própria.

Além disso, a própria metodologia da PINTEC opera com base em triênios de observação (IBGE, 2017; De Negri et al., 2016). A edição de 2023 capta as inovações realizadas entre 2021 e 2023, período que antecede a maturação dos investimentos mais expressivos realizados pelo BNDES em 2022 e 2024. Assim, os efeitos desses desembolsos tendem a aparecer apenas nas edições futuras da pesquisa, especialmente nas rodadas previstas para 2026 e 2027.

A segunda consideração diz respeito à escala relativa dos programas analisados. O BNDES Inovação Indústria desembolsou aproximadamente R\$ 4,4 bilhões entre 2018 e 2024, o que corresponde a cerca de R\$ 627 milhões por ano. Em contraste, a PINTEC 2023 registra que as empresas industriais brasileiras investiram R\$ 38,3 bilhões em P&D apenas em 2023, sendo R\$ 33 bilhões provenientes da indústria de transformação. Isso significa que os programas analisados representam aproximadamente 1,6% do investimento total em P&D industrial no país. Embora esse volume seja relevante para as empresas diretamente beneficiadas, sua escala é insuficiente, por si só, para alterar de forma significativa a taxa agregada de inovação de um universo industrial que reúne cerca de 184 mil estabelecimentos.

Uma terceira dimensão importante refere-se ao perfil das empresas que efetivamente acessam os programas. A análise apresentada na seção 4.3.3 demonstrou que grandes empresas concentram a maior parte dos recursos do BNDES Inovação, respondendo por aproximadamente 62% do valor desembolsado. Os dados da PINTEC 2023 indicam que essas empresas já apresentam taxas de inovação elevadas: empresas com mais de 500 empregados

possuem taxa de inovação de 73,6%, enquanto aquelas com 250 a 499 empregados alcançam 70,8%.

Ao mesmo tempo, o resultado observado na análise desta tese, no qual microempresas apresentam valores médios por operação comparáveis aos das grandes empresas, o que exige uma interpretação cuidadosa. A categoria "microempresa" utilizada pelo BNDES baseia-se na Receita Operacional Bruta (ROB) e, portanto, não corresponde necessariamente ao perfil típico de microempresa do senso comum. Na prática, parte expressiva dessas empresas são startups de base tecnológica ou deep techs com faturamento reduzido, mas envolvidas em projetos de P&D de alta complexidade.

Embora não seja possível verificar diretamente o perfil dessas microempresas nos microdados disponíveis, a combinação de faturamento reduzido com alto valor médio de P&D financiado é consistente com o perfil de startups deep tech descritas na literatura (Damanpour; Wischnevsky, 2006; Auerswald; Branscomb, 2003), perfil também atendido pelo PIPE FAPESP, programa destinado a micro e pequenas empresas de base tecnológica (MPEBTs) (FAPESP, 2022). Essa sobreposição de perfil será retomada na triangulação metodológica da seção 5.3.

Em contrapartida, o grupo que permanece relativamente à margem dos instrumentos analisados é o das empresas de médio e pequeno porte convencionais, aquelas que possuem atividade produtiva consolidada, mas não dispõem de escala suficiente para estruturar projetos de inovação compatíveis com as exigências de financiamento por crédito. Esse segmento apresenta taxas de inovação inferiores a 60% na PINTEC e, nos dados desta tese, registra os menores valores médios por operação.

A quarta consideração refere-se ao alinhamento setorial entre os investimentos analisados e os setores mais inovadores da indústria brasileira. A PINTEC 2023 aponta que os setores com maiores taxas de inovação são Química (88,7%), Máquinas e Equipamentos (88,0%), Equipamentos de Informática e Eletrônica (85,3%) e Farmoquímico (82,4%). Esses mesmos setores aparecem entre aqueles com maior valor médio por operação no BNDES Inovação, como o segmento farmoquímico e farmacêutico, equipamentos de informática e máquinas e aparelhos industriais. Esse padrão sugere uma convergência entre os setores com maior intensidade inovadora e aqueles que recebem operações de maior escala no financiamento público. Ao mesmo tempo, essa convergência reforça o padrão de concentração observado anteriormente, uma vez que os programas acabam financiando preferencialmente empresas pertencentes a setores que já apresentam elevada capacidade de inovação.

Um dado adicional reforça essa interpretação. A PINTEC 2023 registra que a proporção de empresas industriais que utilizaram apoio público para inovar caiu de 39,0% em 2022 para 36,3% em 2023. Essa redução ocorre no mesmo período em que o BNDES amplia seus desembolsos. O resultado sugere que o financiamento público pode estar concentrado em um grupo relativamente restrito de empresas que acessam os instrumentos de forma recorrente, enquanto uma parcela significativa do universo empresarial permanece fora desses mecanismos.

Esse padrão indica que o principal gargalo não se encontra necessariamente na oferta de recursos, mas na capacidade de demanda qualificada por parte das empresas. Muitas organizações, especialmente pequenas e médias empresas, enfrentam dificuldades para estruturar projetos de inovação com nível de complexidade técnica e financeira compatível com as exigências dos instrumentos de crédito.

Além disso, a queda na taxa de inovação observada entre 2021 e 2023 aponta, sobretudo, para a presença de obstáculos estruturais que extrapolam o alcance direto dos instrumentos financeiros analisados. Trata-se de condicionantes estruturais do sistema de inovação brasileiro que não podem ser resolvidos apenas por meio de políticas de financiamento. E para entender de forma mais aprofundada a relação do investimento público e a inovação gerada, é fundamental situar o país mundialmente.

4.3.5 Benchmarking de inovação: O Brasil no Cenário Mundial

Para compreender a efetividade das políticas de financiamento à Indústria 4.0, é fundamental situar o Brasil no cenário internacional. O benchmarking internacional situa o país na 52ª posição do Índice Global de Inovação (IGI) da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO, 2025) que existe desde 2007. O cálculo do IGI não se baseia em uma métrica única, mas sim em uma média complexa que avalia o "ecossistema de inovação" de um país dividindo-o em dois grandes subíndices: os *inputs* (insumos para inovação, como instituições, capital humano, infraestrutura, sofisticação do mercado e ambiente de negócios) e os *outputs* (resultados reais gerados, como patentes, produção científica, tecnologia e bens criativos) (Cornell University, INSEAD & WIPO, 2018).

Complementarmente, a PINTEC, conduzida pelo IBGE, atua como o termômetro microeconômico doméstico. Ela desce ao nível da firma para medir a inovação real (implementação de produto e processo) diretamente no chão de fábrica das empresas brasileiras

(IBGE, 2017; Menezes et al., 2017). Em suma, enquanto o IGI mede o "potencial sistêmico", a PINTEC afere a "taxa de adoção efetiva".

Essa queda no IGI acompanha e reflete as reduções de inovatividade verificadas internamente pelos indicadores nacionais. O país recuou da 49ª posição em 2023 para a 50ª em 2024, caindo para a 52ª posição na mais recente edição de 2025 (INPI, 2025; WIPO, 2025). Essa perda gradual de posições no *ranking* global aparenta espelhar a retração na taxa de inovação da indústria de transformação capturada pela PINTEC 2023, que caiu sucessivamente de 70,5% em 2021 para 68,1% em 2022, chegando a 64,6% em 2023 (Ferreira, 2025). Essa sincronia indica que as barreiras estruturais do país estão afetando não apenas a adoção interna de tecnologias, mas também externa.

De fato, o Brasil é um país de contrastes no benchmarking global: pontua de forma relativamente positiva no subíndice de "sofisticação de negócios", alcançando a 39ª posição global no IGI 2025 (WIPO, 2025) e sustenta um volume expressivo de gastos com P&D. Em termos agregados, o Brasil investe historicamente cerca de 1,27% do seu Produto Interno Bruto (PIB) em P&D (De Negri, 2021), montante que contempla tanto o dispêndio público quanto o privado. Desse total, a PINTEC 2023 registra que apenas o segmento industrial privado investiu R\$ 38,3 bilhões em P&D no ano de 2023, sendo R\$ 33 bilhões provenientes da indústria de transformação.

Não à toa, no contexto latino-americano, o Brasil é o líder em volume de recursos, respondendo por quase dois terços de todo o investimento em P&D da América Latina, desembolsando cerca de 1,2% a 1,3% de seu PIB na área, o dobro da média regional e à frente de países como México, Argentina, Colômbia e Peru (Betarelli Junior et al., 2020).

Contudo, apesar dessa hegemonia financeira e de liderar os depósitos de patentes na região (De Negri; Squeff, 2016), o Brasil frequentemente divide ou perde a liderança do ranking do IGI para o Chile, o que comprova que gastar mais não se traduz automaticamente na eficiência do ecossistema para gerar inovações com facilidade (WIPO, 2025). Dutz (2018) pontua que o ecossistema brasileiro é ineficiente na conversão do dinheiro investido em inovação comercializável e em ganhos de eficiência agregada.

Na edição de 2024, o Brasil havia conseguido ultrapassar o vizinho, assumindo a liderança da América Latina ao alcançar a 50ª posição global, deixando o Chile em 51º e o México em 56º (WIPO, 2024). Contudo, a edição mais recente de 2025 mostra que o Brasil caiu para a 52ª posição, fazendo com que o Chile (51º) retomasse a liderança regional, com o México seguindo em 58º.

Ou seja, a posição intermediária do Brasil revela que o país possui ilhas de excelência produtiva e de inovação, mas esbarra em um ambiente de negócios burocrático que dificulta a escalabilidade, muito fruto do seu histórico de protecionismo comercial (Schneider e Reynolds (2019).

Mais do que isso, a inovação brasileira sofre com a ausência de uma visão de longo prazo, sendo as políticas públicas frequentemente sujeitas à volatilidade política e à descontinuidade, o que impede que o país compita de forma sustentável em um mundo globalizado (Schneider; Reynolds, 2019).

Enquanto países líderes globais formulam estratégias nacionais perenes para a adoção de tecnologias 4.0, o Brasil esbarra em uma institucionalidade frágil e na falta de coordenação política (IEDI, 2018). Na prática, essa ausência de planejamento de longo prazo resulta no frequente esvaziamento orçamentário dos fundos públicos de ciência e tecnologia durante crises econômicas, interrompendo ciclos de pesquisa vitais para a competitividade (Borges, 2021; De Negri, 2021).

Por essa razão, superar o atraso tecnológico exigirá a institucionalização do fomento à inovação não apenas como pautas transitórias de governo, mas como autênticas políticas de Estado, assegurando o comprometimento contínuo necessário para a maturação dos investimentos industriais (Ibanez, 2021; Dunham et al., 2025).

Para além da instabilidade institucional, outras grandes barreiras se destacam como entraves estruturais à inovação no Brasil: A primeira refere-se à disponibilidade de mão de obra qualificada. A transição para a Indústria 4.0 depende de trabalhadores capazes de operar, programar e integrar sistemas ciberfísicos, automação avançada e tecnologias digitais. Entretanto, a qualidade ainda insatisfatória da educação básica e a baixa formação de profissionais nas áreas STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) limitam a capacidade das empresas brasileiras de absorver e utilizar tecnologias avançadas (CNI, 2018; De Negri; Squeff, 2016). Esse déficit de capital humano atua como um teto estrutural para o aumento da produtividade e para a difusão tecnológica na economia brasileira (Morceiro, 2019).

A segunda barreira diz respeito às condições de financiamento e ao custo do capital. Embora existam instrumentos públicos relevantes, como os programas da FINEP e do BNDES analisados nesta tese, o ecossistema financeiro brasileiro ainda apresenta limitações importantes. A escassez relativa de fundos privados de financiamento tecnológico, como venture capital e private equity voltados à inovação, combinada às elevadas taxas de juros reais da economia brasileira torna o custo do capital significativamente mais alto do que em

economias industrializadas (De Negri, 2012; Schneider; Reynolds, 2019). Esse cenário reduz a disposição das empresas para assumir riscos associados a projetos de inovação de longo prazo.

Além desses fatores centrais, outros condicionantes estruturais também influenciam o desempenho do sistema nacional de inovação. A UNESCO (2026) aponta diversas dificuldades: as dimensões territoriais do país, os desafios de coordenação institucional, as dificuldades de implementação de políticas públicas capazes de atender simultaneamente às diferentes realidades regionais, a qualidade ainda limitada do ensino científico nas escolas, os níveis insuficientes de investimento em pesquisa e desenvolvimento e a necessidade de ampliar o acesso social ao conhecimento científico, incluindo maior participação feminina nas atividades científicas (UNESCO, 2026).

Essas questões não serão aprofundadas aqui, mas são importantes de serem mencionadas para o fechamento que vem em seguida.

4.4 SÍNTESE INTERPRETATIVA DOS RESULTADOS

Essa síntese se organiza em dois eixos estruturantes que cruzam a engenharia institucional (Capítulo 3) com o fluxo real dos recursos (Capítulo 4). Ao questionar criticamente se inovamos, a resposta é afirmativa: o Brasil inova porque o Estado atua como o absorvedor primordial do risco tecnológico, viabilizando financeiramente o que o mercado privado rejeita devido à alta incerteza.

A articulação institucional entre subvenção e crédito revela o Estado como o principal absorvedor de riscos tecnológicos, viabilizando o que o capital privado negligencia devido à alta incerteza (Mazzucato; Perez, 2015). Enquanto agências como FINEP e FAPESP focam no financiamento intangível para que startups e *deep techs* superem o "Vale da Morte" (Auerswald; Branscomb, 2003; De Negri, 2021), o BNDES opera na inovação por difusão, permitindo que setores maduros, como o metalmecânico e químico, promovam o *catch-up* tecnológico e combatam a obsolescência produtiva (Vermulm, 2018; Dunham et al., 2025). Essa complementaridade funcional assegura que o sistema atenda tanto à ruptura radical quanto à modernização produtiva sistêmica, equilibrando o suporte entre empresas nascentes de base tecnológica e corporações consolidadas.

Todavia, a distribuição desse fomento expõe limites estruturais. O crédito para bens de capital tende a concentrar a modernização fabril em grandes corporações do eixo Sul-Sudeste, reforçando disparidades territoriais em regiões com infraestrutura científica prévia (Santos;

Silveira, 2001; Costa, 2024; IEDI, 2018). Além disso, a aparente latência entre os desembolsos bilionários e os índices imediatos de produtividade não indica falha na política, mas reflete o ciclo longo de maturação inerente ao paradigma da Indústria 4.0, exigindo uma análise que transcenda resultados de curto prazo (Freeman; Soete, 2008).

O Brasil possui, portanto, um arcabouço de fomento sofisticado, embora marcado por assimetrias: a adoção física é liderada por corporações tradicionais, enquanto a ruptura intangível depende prioritariamente das deep techs. O pleno êxito da atual política de neoindustrialização (Nova Indústria Brasil - NIB) reside, portanto, na manutenção do Estado Empreendedor como indutor de longo prazo, capaz de sustentar investimentos estratégicos até sua efetiva maturação produtiva (Brasil, 2025e). Essa estrutura robusta, se coordenada para mitigar gargalos regionais e de acesso para pequenas empresas, é fundamental para consolidar a transição para o paradigma tecnológico 4.0.

Apesar de todos os gargalos institucionais e burocráticos, sim, o Brasil é um país que inova. O relatório da Organização Mundial da Propriedade Intelectual atesta que o Brasil é a única economia da América Latina e do Caribe com desempenho em inovação acima das expectativas para seu nível de desenvolvimento pelo quinto ano consecutivo (WIPO, 2025). O paradoxo (o potencial desperdiçado) é que o Brasil é o líder regional na produção científica e tecnológica (*outputs*), mas o seu ambiente de negócios e o protecionismo de mercado atuam como âncoras que impedem que essa inovação se dissemine de forma sistêmica e competitiva pela economia (Schneider; Reynolds, 2019; INPI, 2025).

CAPÍTULO 5 – AS ANÁLISES DAS ENTREVISTAS

Embora a análise dos macrodados dos programas federais e estaduais ofereça um panorama robusto sobre a alocação do crédito e da subvenção no território nacional, ela carrega uma limitação: a movimentação financeira, por si só, não representa a materialização da inovação. Conforme evidenciado na literatura, os indicadores de fomento muitas vezes falham em capturar o longo e tortuoso processo de amadurecimento tecnológico que ocorre no interior das firmas (Venturini; Verbano, 2017).

Assim, aqui o objetivo é avaliar, sob a perspectiva das empresas beneficiárias, o impacto na inovação diante da subvenção econômica estadual (FAPESP).

5.1 APRESENTANDO OS ENTREVISTADOS (CONTEXTUALIZAÇÃO)

Para compreender a materialização das políticas de fomento no cotidiano produtivo, esta etapa qualitativa baseou-se em entrevistas com empreendedores cujas trajetórias ilustram o impacto prático do financiamento estatal. Os dois sujeitos de pesquisa selecionados atuam como representantes de Micro e Pequenas Empresas de Base Tecnológica, organizações que operam na fronteira do conhecimento e assumem altos riscos para desenvolver inovações. Em estrita observância aos protocolos de ética em pesquisa, garantiu-se o anonimato pactuado, sendo os entrevistados identificados apenas por suas iniciais (F.B. e R.O.).

Perfil F.B.: Trata-se de um profissional sênior (64 anos), com formação em análise de sistemas e atuação profunda no desenvolvimento de tecnologias voltadas para a economia circular, sustentabilidade e cidades inteligentes. F.B. atua liderando projetos ambientais integrados à Internet das Coisas (IoT), como a criação de rastreabilidade e lixeiras inteligentes. A sua experiência empírica com o fomento público é robusta: o empreendedor acessou recursos do Programa Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas (PIPE) da FAPESP, especificamente nas Fases 2 e 3, com projetos executados ao longo de quase uma década, entre 2009 e 2018. Além do fomento estadual paulista, F.B. também esteve à frente de projetos de inovação financiados por recursos federais provenientes do BNDES Funtec.

Perfil R.O.: Empreendedor atuante no setor de tecnologia, cuja trajetória ilustra o desafio da sobrevivência corporativa nas fases iniciais de desenvolvimento de soluções complexas. A empresa de R.O. logrou êxito em sobreviver e se consolidar no mercado de inovações, fato que o próprio entrevistado atribui diretamente ao apoio do Estado. Ao longo de sua jornada tecnológica, cujos financiamentos se iniciaram a partir de 2010, sua organização

foi impulsionada e mantida viva por cinco verbas distintas de fomento governamental. Destacam-Se, nesse portfólio de captação, as aprovações no programa PIPE da FAPESP, abrangendo o desenvolvimento de protótipos (Fase 2) e a inserção comercial da plataforma (Fase 3).

Assim, ambos representam os atores centrais da transição tecnológica: pequenas empresas que, por meio da subvenção governamental, conseguiram transformar ciência aplicada em ferramentas comerciais diretamente alinhadas às premissas da Indústria 4.0 e da sustentabilidade.

5.2 A ANÁLISE CATEGORIAL DO IMPACTO DA FAPESP

Esta seção apresenta a análise categorial das entrevistas realizadas com empresas beneficiárias do programa PIPE FAPESP, com o objetivo de compreender como o fomento público impacta o desenvolvimento de inovações tecnológicas. A partir da análise de conteúdo das entrevistas, foram identificadas cinco categorias analíticas que sintetizam os principais padrões observados nos relatos. O Quadro 5 apresenta o mapa de convergência entre os entrevistados, indicando as evidências empíricas associadas a cada categoria e o grau de convergência entre os depoimentos.

Quadro 5 - Mapa de convergência entre entrevistados por categoria final

Categoria Final	Evidências F.B.	Evidências R.O.	Convergência
CF1 - Estado como Financiador do Risco Irrecusável [7 Unidades de Registro]	“Não, sem isso, não teria feito esse projeto.”	“A gente conseguiu estar no mercado hoje graças a financiamento de governo. Sozinho a gente não conseguiria fazer.”	TOTAL
CF2 - Choque Institucional: Tempo do Estado vs. Tempo da Inovação [9 Unidades de Registro]	“A prestação de contas, cara. É a parte mais chata do negócio.” “Pesquisador pesquisa, não faz administração. E o cara da indústria corre atrás — ele está na operação.”	“O investimento privado é um contrato. O governo tem burocracia grande e tempo grande de aprovação.”	TOTAL
CF3 - Acesso como Barreira Civilizatória [7 Unidades de Registro]	Ausência de unidades de registro diretas.	“Antigamente sobrava dinheiro todos os anos — não por falta de projeto, por falta das pessoas não saberem escrever projetos.”	PARCIAL

CF4 - A Lacuna da Demanda: O Estado que Financia mas Não Compra [7 Unidades de Registro]	“O BNDES, o FINEP — o governo tem o potencial e fala: a partir de hoje eu quero todas as lixeiras dos contratos inteligentes e pronto. Acabou, eu tenho cliente para o resto da vida.”	[indireta]: “A grande maioria das empresas que poderiam estar pensando em inovação — ou ela sobrevive, ou ela compra a tecnologia pronta que já está disponível fora.”	PARCIAL
CF5 - Insegurança Jurídico-Institucional como Desincentivo à Inovação [3 Unidades de Registro]	(Ausente)	“Demora 3, 4 anos para você ter uma patente. Nesses 4 anos que está o seu projeto — quem não tem a patente sabe o que você está fazendo. Se ele tiver mais dinheiro, começa a fazer a mesma coisa.”	UNILATERAL R.O.

Nota: Convergência: TOTAL = ambos os entrevistados apresentam URs diretas para a mesma categoria. PARCIAL = um fornece evidência direta e o outro confirma indiretamente pelo contexto ou pela ausência. UNILATERAL = apenas um entrevistado fornece evidência — categoria válida, mas generalização restrita. UR = Unidade de Registro = trechos de fala com sentido completo. Fonte: Resultados originais da pesquisa (2026).

A categoria CF1 — Estado como Financiador do Risco Irrecusável apresenta convergência total entre os entrevistados e constitui o resultado mais robusto do estudo. Tanto F.B. quanto R.O. afirmam de forma inequívoca que, sem a subvenção pública da FAPESP, suas empresas não teriam chegado ao mercado.

A segunda categoria, CF2 — Choque Institucional: Tempo do Estado vs. Tempo da Inovação, também apresenta convergência total, mas com uma nuance importante. Ambos os entrevistados reconhecem que a burocracia associada ao fomento público — especialmente a rigidez das rubricas, a morosidade dos processos de aprovação e o peso da prestação de contas — gera atrito com a dinâmica da inovação.

A categoria CF3 — Acesso como Barreira Civilizatória apresenta convergência parcial. As evidências diretas aparecem nas falas de R.O., que menciona fatores como fuga de talentos, dificuldades de elaboração de projetos e assimetrias geográficas no acesso aos programas. F.B., por sua vez, não relata barreiras de acesso porque sua trajetória representa justamente o perfil que o sistema consegue atender: empresa localizada em São Paulo, com formação técnica avançada e rede institucional consolidada. Paradoxalmente, essa ausência reforça a própria categoria, pois sugere que o acesso ao sistema depende da posse prévia de capital técnico, informacional e geográfico que nem todas as empresas possuem.

Situação semelhante ocorre na categoria CF4 — A Lacuna da Demanda: O Estado que Financia mas Não Compra, também classificada como convergência parcial. Nesse caso, F.B. fornece evidência direta ao descrever a dificuldade de transformar tecnologias já desenvolvidas

em inovação efetivamente absorvida pelo mercado, especialmente na transição entre a validação técnica e a existência de um cliente pagante.

Por fim, a categoria CF5 — Insegurança Jurídico-Institucional como Desincentivo à Inovação aparece de forma unilateral nas falas de R.O. e emergiu indutivamente da análise. O entrevistado descreve problemas relacionados à morosidade do sistema de patentes, à competição predatória durante disputas judiciais e ao incentivo negativo gerado por compras públicas baseadas exclusivamente no menor preço. A ausência dessa categoria na entrevista de F.B. provavelmente reflete diferenças setoriais, indicando que o problema pode variar conforme o tipo de mercado em que a empresa atua. Embora a evidência ainda não permita generalização ampla, a literatura reconhece esse tipo de insegurança institucional como um obstáculo relevante à inovação (Coriat, 2011).

Juntas, as categorias com convergência total (CF1 e CF2) mostram que o sistema cumpre sua função de financiar o risco inovador, mas ainda enfrenta fricções institucionais internas. Já as categorias com convergência parcial ou unilateral (CF3, CF4 e CF5) apontam limitações que se situam fora do próprio instrumento de fomento, relacionadas ao acesso, à formação de demanda e ao ambiente institucional mais amplo.

Adiante, cada uma das categorias é explorada com mais profundidade.

5.2.1 Estado como financiador do risco irrecusável

A subvenção econômica da FAPESP não é um instrumento auxiliar de política industrial, mas condição necessária de existência das empresas inovadoras entrevistadas. Sem ela, o projeto não seria realizado (F.B., UR01), a empresa não estaria no mercado (R.O., UR02).

Essa transição entre a pesquisa científica original e a efetiva comercialização de uma nova tecnologia é historicamente marcada por um período de extrema vulnerabilidade conhecido como "Vale da Morte" (Ellwood; Williams; Egan, 2022). Para as micro e pequenas empresas de base tecnológica (*deep techs*), essa lacuna crítica ocorre de forma severa nos estágios intermediários de desenvolvimento, momento em que as tecnologias precisam provar sua viabilidade técnica por meio de protótipos, mas ainda não estão prontas para a absorção comercial (Muscio; Simonelli; Vu, 2023).

Com isso, a lente da Hélice Sêxtupla (Labiak Junior, 2012) permite qualificar o papel do Estado como financiador. O modelo distingue o ator de fomento, representado por agências como FAPESP, FINEP e BNDES, do ator governamental propriamente dito, que define prioridades e regula o sistema. Essa separação é analiticamente relevante porque o risco

absorvido pela subvenção econômica não decorre de uma decisão “do governo” em sentido genérico, mas de agências especializadas que operam com critérios técnicos próprios, distintos da lógica político-administrativa ministerial (Figueiredo et al., 2022).

R.O. descreve a trajetória das empresas sem apoio: “É muito comum: vai para banco, começa a tentar fazer tudo com dinheiro próprio — para ele quebra, não consegue naquele período. Tem que estar investindo [...] só que ele não tem esse planejamento”. Nesse cenário de alta incerteza, complexidade técnica e ausência de garantias de retorno no curto prazo, o capital privado tradicional recua. É exatamente nessa falha de mercado que a subvenção econômica governamental atua não apenas como um incentivo acessório, mas como a principal — e muitas vezes única — ponte de sobrevivência (Nemet et al., 2018).

No ecossistema inovativo, programas como o PIPE da FAPESP assumem o papel vital de absorvedores desse risco extremo. O financiamento não reembolsável permite que as inovações escalem a métrica de Níveis de Maturidade Tecnológica (TRL - *Technology Readiness Level*), saindo da pesquisa de bancada para alcançarem níveis mais maduros de demonstração de protótipos em ambiente relevante ou operacional (TRL 6 ou 7).

Essa dependência estrutural ficou categoricamente evidenciada na fala do entrevistado F.B. Ao relatar o avanço de sua plataforma de *hardware* e *IoT* voltada para a gestão inteligente de resíduos — que conseguiu atingir a maturidade TRL 6 e 7 graças aos sucessivos editais —, F.B. foi questionado se a inovação teria saído do papel sem o fomento estatal. Sua resposta ilustra a imprescindibilidade da política pública: “Não, sem isso, não teria feito esse projeto”.

Essa realidade de dependência existencial é fortemente corroborada pela trajetória do entrevistado R.O., cuja empresa se consolidou no mercado após acessar e ser mantida por múltiplas fases de fomento. O empreendedor destaca que o distanciamento do setor privado nas fases incipientes torna o apoio do Estado o divisor de águas entre a consolidação e a falência da firma. Em seu relato empírico, ele crava: “A gente conseguiu estar no mercado hoje graças a financiamento de governo... sozinho a gente não conseguiria fazer”.

O impacto dessa ponte financeira torna-se ainda mais evidente quando R.O. analisa o ecossistema à sua volta. Ele reforça o caráter letal dessa travessia para os entrantes que buscam criar *hardware* e soluções para a Indústria 4.0, alertando que, sem o suporte da subvenção, os inovadores “morrem na praia” tentando custear a construção e a validação de seus protótipos de forma independente.

Assim, a subvenção econômica cumpre um papel de legitimação e sobrevivência. Sem a intervenção direta do Estado para mitigar os custos de capital e a assimetria de informações inerentes às fases de prova técnica (Takalo; Tanayama, 2010), o estrato de micro e pequenas

empresas de fronteira tecnológica no Brasil desapareceria no Vale da Morte antes mesmo de ter a chance de apresentar suas inovações ao mercado produtivo.

5.2.2 O Choque Institucional: tempo do estado vs. tempo da inovação

O argumento central desta seção é que existe um conflito estrutural entre a lógica de funcionamento do Estado e a lógica própria da inovação. De um lado, as regras de controle administrativo público operam segundo os princípios da previsibilidade, da conformidade e do controle. De outro, a inovação se desenvolve em ambiente de incerteza, experimentação, iteração e revisão contínua. O choque entre essas duas lógicas, portanto, não é episódico nem contingente, mas estrutural, pois decorre da tensão entre instituições formais e a dinâmica concreta dos processos inovativos (North, 1990).

Essa tensão aparece com maior nitidez na fala de F.B., cuja trajetória de 2009 a 2019 na gestão de projetos públicos de inovação oferece um conjunto particularmente denso de evidências sobre o problema. Em seu relato, o primeiro ponto de atrito é a própria prestação de contas. Ao afirmar que “a prestação de contas, cara. É a parte mais chata do negócio”, o entrevistado sintetiza, em linguagem direta, o peso que a burocracia assume no cotidiano da inovação.

Segundo o entrevistado, mais do que um incômodo operacional, trata-se de uma exigência que consome tempo, energia cognitiva e recursos financeiros que poderiam estar sendo direcionados ao desenvolvimento tecnológico. Não por acaso, ele relata a necessidade de recorrer a Fundações de Apoio para administrar exclusivamente a burocracia contábil, o que revela a existência de um custo adicional de overhead. Nesse aspecto, a previsão de até 5% do orçamento para gestão administrativa via Fundação de Apoio, no caso do BNDES Funtec, é mencionada positivamente como um avanço em relação a modelos anteriores.

Esse problema se conecta, em seguida, a uma dificuldade mais ampla de capacidade gerencial. Como resume F.B., “pesquisador pesquisa, não faz administração. E o cara da indústria corre atrás — ele está na operação”. A fala explicita um desalinhamento entre o perfil exigido pelos instrumentos públicos de fomento e o perfil real das empresas inovadoras nascentes.

O sistema demanda um gestor capaz de lidar com orçamento, rubricas, contratos, comprovantes e cronogramas; contudo, nas empresas de base tecnológica, é comum que os atores centrais sejam pesquisadores ou empreendedores técnicos, cuja formação e rotina estão voltadas à pesquisa e à operação, não à gestão burocrática de projetos complexos. Assim, o

problema não está apenas na existência das exigências, mas também no fato de que elas recaem sobre organizações que ainda não possuem estrutura interna para absorvê-las adequadamente.

Ao mesmo tempo, o próprio depoimento de F.B. mostra que essas barreiras não incidem de forma homogênea sobre todas as empresas. Em sua experiência, prazo de liberação, capacitação da equipe e infraestrutura digital “não tinham problema nenhum”, porque se tratava de uma empresa de tecnologia já dotada de base técnica consolidada.

Essa diferenciação é coerente com a literatura sobre o “Vale da Morte” tecnológico. Como argumentam Gbadegeshin et al. (2022), a travessia entre pesquisa, validação e inserção no mercado não depende apenas de recursos financeiros, mas também de maturidade estrutural. Dean et al. (2022) reforçam esse ponto ao indicar que a gestão do fomento exige um nível mínimo de complexidade organizacional. Empresas nascentes, que ainda não dispõem de rotinas administrativas profissionalizadas, tendem a ser mais vulneráveis às exigências de conformidade, prestação de contas e gestão financeira impostas pelos editais públicos.

Entre todas as manifestações desse problema, a rigidez orçamentária aparece como a barreira mais estrutural. F.B. afirma que “os orçamentos iniciais dos projetos são muito engessados e você não consegue ajustar as rubricas no tempo da inovação”. Esse é o núcleo do conflito: enquanto a inovação exige mudança de rota, o contrato público exige fidelidade ao planejamento inicial. Em projetos tecnológicos, é comum que novas necessidades surjam durante a execução, exigindo realocação de recursos entre categorias de despesa. No entanto, o modelo de controle estatal opera como se a trajetória do projeto pudesse ser conhecida e fixada antecipadamente com precisão.

O episódio relatado por F.B. torna esse conflito particularmente concreto. Segundo ele, havia verba prevista para serviço de consultoria, mas, no decorrer do projeto, tornou-se necessário comprar matéria-prima para produzir o item. Como resume o entrevistado: “eu tinha verba de serviço de consultoria [...] mas tinha que comprar matéria-prima para produzir o item. Até autorizar, eu já havia gasto. Ela disse que eu não podia ter gasto nisso”.

A mesma incompatibilidade aparece na morosidade dos processos de avaliação. F.B. relata que “demora 6, 8, 10, 12 meses até aprovar. Tem que ter uma equipe mais dedicada”. Uma janela de aprovação dessa magnitude é incompatível com a velocidade dos mercados tecnológicos, nos quais oportunidades podem se fechar rapidamente.

Essa morosidade atinge seu ponto mais agudo no paradoxo da prova de conceito. Nas palavras de F.B., “o [banco público] pediu uma prova de conceito. Se eu chegasse com documento desses, o pessoal fala: ‘bom, agora libera o recurso para fazer a prova de conceito’. Tá aqui. [Mas precisava do recurso para fazer a prova de conceito]”. O problema, nesse caso

é circular: exige-se a demonstração prévia de viabilidade para liberar os recursos, mas os próprios recursos são necessários para produzir essa demonstração. Cria-Se, assim, um loop institucional paralisante, especialmente para empresas que não dispõem de capital próprio para financiar a etapa inicial de validação.

Ellwood, Williams e Egan (2022) observam que a ausência de validação tecnológica é um dos principais gatilhos do Vale da Morte, pois afasta financiadores que dependem de algum grau de prova visível de viabilidade, como protótipos e demonstrações. O efeito é ainda mais desigual quando se considera o perfil das micro e pequenas empresas de base tecnológica. Essas firmas, em geral, não possuem receitas recorrentes nem ativos que possam servir de garantia, o que reduz sua capacidade de financiar com recursos próprios as etapas experimentais mais custosas (Inhudes et al., 2024; Pimentel et al., 2024).

Assim, ao condicionar a liberação do fomento à apresentação prévia de evidências de viabilidade, o sistema acaba privilegiando empresas maduras, que já possuem capital e estrutura para iniciar o ciclo, e restringindo o espaço para inovações radicais oriundas de empresas descapitalizadas (Gbadegesin et al., 2022; Ferreira, 2024).

A fala de R.O. confirma essa categoria por outro ângulo. Em sua percepção, o acesso ao financiamento público “é burocrático, não é simples”, o que já reforça a ideia de que o Estado impõe um percurso mais denso e mais lento para a inovação. Além disso, o entrevistado estabelece explicitamente uma comparação com o setor privado ao afirmar que “Enquanto o investimento privado é um contrato; [...] o governo tem burocracia grande e tempo grande de aprovação”.

Mazzucato (2021) argumenta que o sistema financeiro privado opera sob forte pressão por retornos de curto prazo, o que o torna pouco disposto a financiar projetos marcados por alta incerteza e longo tempo de maturação. Em geral, investidores privados exigem retorno mais rápido e maior previsibilidade, evitando assumir o risco das fases iniciais do desenvolvimento tecnológico (Ferreira, 2024; Mesquita, 2024). Forma-Se, assim, um dilema estrutural para as empresas inovadoras: o capital privado é mais ágil, mas foge do risco; o capital estatal absorve o risco que o mercado rejeita, mas o faz em um ritmo burocrático frequentemente incompatível com a velocidade exigida pela inovação.

Nessa perspectiva, o choque institucional não deve ser interpretado como oposição entre uma burocracia simplesmente “ruim” e uma inovação necessariamente “boa”. O que se observa é o confronto entre duas racionalidades legítimas. A *accountability* pública é indispensável, sobretudo quando se trata do uso de recursos estatais. No entanto, os instrumentos de controle foram historicamente desenhados para compras públicas

convencionais, não para processos de P&D marcados por incerteza, aprendizagem e reconfiguração contínua. Por isso, o problema central não é eliminar a prestação de contas, mas redesenhá-la para torná-la compatível com a natureza iterativa da inovação.

Reynolds e De Negri (2017) sustentam exatamente esse ponto ao mostrar que a burocracia que amarra compras públicas, contratos e contratações gera uma inflexibilidade sistêmica incompatível com a agilidade exigida pela pesquisa e pelo desenvolvimento tecnológico. Em contrapartida, há experiências institucionais que indicam a possibilidade de combinar controle com adaptabilidade.

Oliveira e Guimarães (2018), ao analisarem o modelo da EMBRAPA, destacam que a instituição foi estruturada com maior ênfase em eficiência, capacidade de resposta, flexibilidade, planejamento, prestação de contas, indicadores de desempenho, transparência e confiabilidade. Nesse arranjo, o próprio marco normativo reconhece que projetos de inovação tem incertezas inerentes na definição de cronograma, permitindo revisões justificadas no planejamento sem que isso seja tratado automaticamente como infração. Trata-se, portanto, de um modelo de *accountability* mais ajustado à realidade da inovação tecnológica.

Merece exploração, portanto, o fato de que os instrumentos podem existir sem que todos os atores consigam acessá-los em condições equivalentes.

5.2.3 Acesso como barreira civilizatória

Como foi visto, o sistema brasileiro de fomento à inovação opera de forma funcional para empresas que já dominam seus mecanismos institucionais. Aqui, no caso da FAPESP, essa questão reaparece. Um dos principais gargalos identificados é o letramento técnico necessário para acessar os programas. Como relata R.O., “antigamente sobrava dinheiro todos os anos — não por falta de projeto, por falta das pessoas não saberem escrever projetos”. Em complemento, o entrevistado observa que muitas empresas sequer conhecem as linhas de financiamento existentes e, quando descobrem, não sabem como submeter propostas ou prestar contas, recorrendo frequentemente a consultorias especializadas para intermediar o processo.

Esse problema se conecta a uma limitação estrutural mais ampla da formação técnica no país. Figueiredo e Graglia (2021) apontam que um dos principais gargalos para o avanço da Indústria 4.0 no Brasil está na fragilidade da educação básica e na baixa formação de profissionais nas áreas STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Essa escassez limita a capacidade de absorção tecnológica das empresas. Morceiro (2019) reforça esse diagnóstico ao mostrar que a baixa formação nessas áreas restringe a difusão de

tecnologias avançadas, pois as empresas enfrentam dificuldades para encontrar profissionais qualificados capazes de operar e desenvolver novos sistemas produtivos.

Essa barreira de acesso pode ser reinterpretada a partir da Hélice Sêxtupla (Labiak Junior, 2012), que reconhece os atores institucionais (como SEBRAE, federações industriais e agências de desenvolvimento) como uma categoria autônoma no ecossistema de inovação. Na prática, essas organizações funcionam como mediadoras que traduzem a linguagem dos editais para as empresas e capacitam-nas a acessar o sistema de fomento. Quando esse ator institucional está ausente ou é frágil, o “letramento em projetos” torna-se uma barreira estrutural, especialmente para micro e pequenas empresas fora dos grandes centros (Figueiredo et al., 2022).

Outro fator relevante é a migração de pesquisadores qualificados. Segundo R.O., “é muito mais fácil ter uma boa bolsa e ir para fora — e ele acaba não voltando, porque as condições de inovar em outro país são muito melhores do que aqui”. Esse movimento é frequentemente associado à instabilidade do financiamento científico no país. Borges (2021) observa que a ausência de uma política consistente de Ciência, Tecnologia e Inovação, combinada à redução recorrente dos orçamentos públicos, contribui para a saída contínua de pesquisadores. De Negri (2021) documenta a redução de recursos destinados a instituições como CNPq, CAPES e ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) ao longo da última década.

Há diversos fatores estruturais que incentivam essa migração. Soares et al. (2025) identificam três elementos principais: escassez de empregos em pesquisa, instabilidade no financiamento de projetos e perspectivas limitadas de progressão profissional no país. Sem infraestrutura adequada e sem estratégias institucionais para absorver pesquisadores qualificados, forma-se um ciclo no qual o Estado financia a formação acadêmica de alto nível, mas não consegue manter esses profissionais no sistema científico nacional (Carneiro et al., 2020; Biazoli et al., 2026).

Em resposta a esse cenário, algumas iniciativas institucionais foram criadas para estimular o retorno e a fixação de pesquisadores no país. Entre elas está o Programa de Fixação de Recursos Humanos de Alto Nível (PROFIX), regulado pela portaria CNPq nº 2.565, de 12 de dezembro de 2025 (CNPq, 2025), busca atrair pesquisadores altamente qualificados que fizeram mestrado ou doutorado no exterior para retornarem às instituições brasileiras por meio de bolsas e financiamento de projetos de pesquisa, com o objetivo de fortalecer a capacidade científica e tecnológica nacional (CNPq, 2026).

Aqui é interessante a busca da profissionalização. A bolsa inclui aditivos para plano de saúde, auxílio instalação e retorno ao Brasil (Art. 6º):

- b) Auxílio a Pesquisa no valor de até R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais), com valor definido em Chamada Pública;
- c) Auxílio-Instalação, no valor correspondente a uma mensalidade, no primeiro mês de vigência do projeto;
- d) Auxílio-Saúde no valor correspondente a uma mensalidade, no início de cada período de 12 meses ou pagamento mensal no valor de 1/12 (um doze avos) de uma mensalidade de bolsa, de acordo com previsão em Chamada Pública;
- e) Auxílio - Previdência no valor de R\$ 1.000,00 (mil reais) mensais para recolhimento do INSS equivalente a contribuição como autônomo, na forma da Lei nº 8.212, de 24 de julho de 1991, ou legislação que a substitua ou a altere. O pesquisador poderá optar por recolhimento da contribuição previdenciária que entender mais adequada a seu perfil profissional ou contagem de tempo de serviço;
- f) Custeio da passagem aérea de retorno ao país, do coordenador do projeto, extensivo a seu núcleo familiar (cônjuge e filhos), para pesquisadores brasileiros que estejam atuando no exterior quando da aprovação do projeto [...].

Contudo, como pontuam Soares et al. (2025), iniciativas de repatriação científica apresentam limitações importantes quando não enfrentam as causas estruturais da migração de pesquisadores. Segundo os autores, programas desse tipo frequentemente carecem de critérios explícitos e não abordam fatores centrais que levam cientistas brasileiros a deixar o país, como o déficit de vagas em pesquisa, a instabilidade do financiamento para manutenção de projetos e as perspectivas restritas de progressão profissional. Sem esse conjunto de medidas, programas de repatriação tendem a produzir efeitos temporários, pois pesquisadores que retornam ao país podem voltar a emigrar ao término do financiamento ou diante da persistência das mesmas limitações institucionais (Soares et al., 2025).

Mais do que isso, esses programas não conseguem resolver a questão da apropriação privada de resultados de pesquisa desenvolvidos com base em infraestrutura pública. Como observa R.O., quando a inovação é financiada exclusivamente por recursos privados, “ela vai ficar para quem a indústria investiu. Ela não vai ao mercado para todos”. Mesquita (2024), ao revisar a literatura sobre interações universidade–empresa em países em desenvolvimento, destaca que muitas empresas utilizam laboratórios públicos para resolver problemas específicos de suas linhas de produção. Sem mecanismos institucionais que orientem essas parcerias, os resultados tendem a beneficiar apenas os agentes privados envolvidos, sem necessariamente gerar benefícios sociais mais amplos.

Nesse debate, ganha relevância o modelo do triângulo universidade–empresa–governo proposto por Sábato e Botana (2011), no qual o financiamento público desempenha um papel

de direcionamento da pesquisa para necessidades coletivas. Mora et al. (2018) argumentam que, especialmente na América Latina, as universidades exercem uma função de engajamento social e de contribuição ao desenvolvimento regional. Quando o financiamento passa a ser guiado exclusivamente pela demanda empresarial, a pesquisa tende a responder apenas a objetivos corporativos, reduzindo seu alcance social.

Essa tensão entre financiamento público e apropriação privada torna-se mais visível quando analisada sob a ótica da Hélice Sêxtupla (Labiak Junior, 2012). Ao desagregar o “governo” do triângulo de Sábato e Botana em dois atores distintos, o poder público regulador e as agências de fomento, o modelo deixa claro que a regulação que orienta a pesquisa para fins coletivos opera em lógica diferente do financiamento que viabiliza projetos específicos. No caso brasileiro, enquanto BNDES e FINEP financiam, os ministérios regulam; a falta de coordenação entre essas funções ajuda a explicar por que recursos públicos geram resultados que beneficiam predominantemente os agentes privados envolvidos (Figueiredo et al., 2022).

A questão central, portanto, não é apenas ampliar recursos ou simplificar procedimentos, mas ampliar a capacidade das empresas de acessar esses instrumentos. Essa discussão conduz diretamente ao próximo problema identificado na análise empírica: mesmo quando o financiamento é obtido e a tecnologia é desenvolvida, muitas empresas enfrentam dificuldade para encontrar demanda para suas inovações.

5.2.4 A lacuna da demanda: o estado que financia, mas não compra

A análise das entrevistas indica que o PIPE FAPESP atua com eficácia na superação do primeiro “Vale da Morte” da inovação, isto é, a etapa que vai de TRL 1 a TRL 6, na qual a pesquisa básica é convertida em prova de conceito. Contudo, os dados revelam a existência de um segundo gargalo: a transição entre TRL 6–7 e TRL 8–9, quando a tecnologia precisa chegar ao mercado. Nesse estágio, tecnologias tecnicamente validadas permanecem sem aplicação porque não existe um cliente disposto a pagar. Em outras palavras, o Estado financia a inovação, mas não a consome; e, na ausência do Estado como primeiro comprador, o setor privado também tende a não assumir o risco inicial (Mazzucato, 2014).

A literatura sobre difusão tecnológica reforça essa interpretação. Lefebvre, Certhoux e Radu-Lefebvre (2022) argumentam que a superação dessa etapa depende menos da injeção adicional de capital e mais da existência de redes de confiança e de adotantes pioneiros dispostos a absorver o risco tecnológico. Quando a tecnologia atinge viabilidade técnica, mas

não encontra tração comercial inicial, ela tende a desaparecer no que a literatura denomina “Vale da Demanda” (Lefebvre, Certhoux e Radu-Lefebvre, 2022).

Esse problema aparece de forma clara no relato de F.B., ao descrever a interrupção de um projeto tecnicamente viável: “O FINEP não aprovou o projeto de continuidade de investimento. [...] Era um projeto viável — tecnicamente viável, na área nuclear, resolvia passivos ambientais e sociais e econômicos. [...] Ficou parado, não foi investido”. Nesse caso, o financiamento inicial gerou resultados técnicos e até registros de propriedade intelectual, mas a ausência de continuidade institucional impediu que a tecnologia avançasse para a etapa de mercado.

Esse caso expõe um problema recorrente de coordenação entre instrumentos de política de inovação. O projeto financiado pelo BNDES Funtec gerou patentes em diferentes estados, mas a não aprovação de continuidade por outra agência interrompeu o desenvolvimento. Como observam Bittencourt e Rauen (2021), as políticas brasileiras de inovação frequentemente enfrentam dificuldades de coordenação entre instrumentos e instituições, o que resulta em trajetórias de projetos fragmentadas.

Experiências internacionais mostram arranjos institucionais diferentes. Programas como o SBIR nos Estados Unidos, que inspirou o PIPE, possuem mecanismos claros para a chamada Fase 3, ou seja, a inserção comercial das tecnologias desenvolvidas. Nessa etapa, as próprias agências governamentais tornam-se compradoras das soluções tecnológicas que ajudaram a financiar, criando demanda inicial e permitindo que o ciclo de inovação se complete (Leal et al., 2022).

Daí resulta que a literatura sobre políticas orientadas por missões destaca o papel do Estado na formação de mercados. Mazzucato (2021) argumenta que políticas de inovação não devem limitar-se ao financiamento da pesquisa, mas também atuar na criação de demanda por tecnologias emergentes. Um dos instrumentos centrais para isso é o uso estratégico de compras governamentais (public procurement), que reduz a incerteza comercial associada à introdução de novas tecnologias (Rocha, 2018). Embora o marco jurídico brasileiro tenha incorporado instrumentos voltados a esse objetivo (como encomendas tecnológicas e diálogos competitivos), cuja aplicação ainda é limitada na prática administrativa (Rauen et al., 2021).

A ausência desse mecanismo produz um paradoxo institucional: o Estado assume os riscos iniciais do desenvolvimento tecnológico, mas não atua como primeiro comprador. Como resultado, o investimento público nas fases iniciais não se converte automaticamente em inovação difundida no mercado.

A Hélice Sêxtupla (Labiak Junior, 2012) oferece uma chave interpretativa para esse paradoxo. Ao separar o ator “poder público” do ator “fomento”, o modelo torna explícito que o Estado que financia a inovação (via FINEP, BNDES, FAPESP) não é o mesmo Estado que compra os produtos resultantes (via compras governamentais). Essa desagregação funcional revela que a lacuna da demanda não é apenas uma falha de mercado, mas uma falha de coordenação entre dois papéis estatais distintos: o de financiador do risco tecnológico e o de primeiro comprador (Labiak Junior, 2012).

O relato de F.B. explicita essa possibilidade ao sugerir um papel mais ativo do poder público: “O BNDES, o FINEP — o governo tem o potencial e fala: ‘a partir de hoje eu quero todas as lixeiras dos contratos inteligentes e pronto’. Acabou, eu tenho cliente para o resto da vida”. A fala aponta para a ideia de que a criação de demanda pública pode viabilizar tecnologias que já foram tecnicamente desenvolvidas, mas ainda não possuem mercado inicial.

Instrumentos institucionais para esse tipo de atuação já existem no país. O Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), instituído pela Lei nº 13.334 de 2016, busca ampliar a interação entre Estado e iniciativa privada por meio de contratos de parceria, com o objetivo de melhorar o ambiente de negócios e aumentar a segurança jurídica em projetos de longo prazo (PPI, 2026). Quando o Estado define tecnicamente os produtos ou soluções que pretende adquirir, cria-se uma demanda capaz de estimular o desenvolvimento tecnológico e a entrada de novos fornecedores.

Essa estratégia também se conecta ao debate sobre trajetórias tecnológicas em economias emergentes. Lee (2019) argumenta que países retardatários podem acelerar processos ao adotar diretamente novos paradigmas tecnológicos, evitando trajetórias industriais mais longas. No caso brasileiro, esse potencial está associado a características estruturais da economia nacional. Dados recentes mostram que mais de 80% da matriz elétrica brasileira é composta por fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica, solar e biomassa (EPE, 2024; EPE, 2025). Esse perfil energético, aliado à disponibilidade de minerais críticos e ao potencial em biocombustíveis, posiciona o país como candidato relevante na produção de tecnologias associadas à transição energética e aos chamados “bens verdes” (Fernandes et al., 2025; Maia; Daudt; Willcox, 2025).

Apesar desse potencial, o relato do entrevistado indica que a ausência de demanda pública consistente limita a transformação dessas capacidades em inovação efetivamente aplicada. O Estado financia tecnologias, mas não necessariamente cria mercados para sua adoção e, na ausência do Estado como primeiro comprador, o setor privado também tende a não assumir o risco inicial (Mazzucato, 2014).

Essa lacuna institucional aponta que o problema da inovação no país não se limita ao financiamento ou à demanda, mas também envolve o ambiente regulatório no qual as empresas operam. Essa dimensão conduz ao próximo tópico da análise.

5.2.5 Insegurança jurídico-institucional como desincentivo à inovação

Mesmo quando a empresa inovadora supera as barreiras anteriores (acesso ao fomento, gestão burocrática, entrada no sistema e desenvolvimento tecnológico), permanece um obstáculo adicional relacionado ao ambiente jurídico-institucional de proteção à propriedade intelectual. Essa dimensão não estava prevista no referencial teórico inicial e emergiu a partir dos relatos de R.O., cuja empresa enfrentava uma disputa real de patente no momento da entrevista.

A ausência desse tema no relato de F.B. sugere possível variação setorial, pois sua empresa atua em IoT e economia circular, enquanto o caso de R.O. envolve plataforma digital com competição internacional. Ainda assim, os dados indicam que a fragilidade institucional na proteção à propriedade intelectual pode atuar como desincentivo à inovação.

O primeiro problema refere-se à duração do processo de concessão de patentes. Segundo R.O., “demora 3, 4 anos para você ter uma patente. Nesses 4 anos que [está] seu projeto — quem não tem a patente sabe o que você [está] fazendo. Se ele tiver mais dinheiro, começa a fazer a mesma coisa”. O entrevistado reconhece a qualidade técnica do exame realizado pelo INPI, mas aponta a morosidade como fator crítico. Durante o período de análise, a empresa inovadora permanece exposta à replicação por concorrentes com maior capacidade financeira. Nesse quadro, copiar torna-se uma estratégia economicamente mais rápida do que inovar. De acordo com Karthaus, Huenermund e Lokshin (2020), no que se trata de propriedade intelectual, a eficácia da inovação como estratégia competitiva depende não apenas da existência de proteção legal, mas também da rapidez com que essa proteção se materializa. Em ambientes institucionais onde a proteção é lenta, a replicabilidade das tecnologias reduz a vantagem do inovador (In, 2020).

O segundo problema aparece na dinâmica das disputas jurídicas. R.O. relata que, após a aprovação de sua patente, um concorrente estrangeiro apresentou contestação: “No dia seguinte, entrou um chinês contestando. [...] Enquanto está em processo, ele vai vendendo [...] queima o mercado — a pessoa não vai querer comprar de novo”. Nesse caso, o concorrente não precisa vencer a disputa jurídica para causar prejuízo. Basta comercializar produtos similares durante o processo judicial.

Caso esses produtos apresentem desempenho inferior, o mercado tende a associar a experiência negativa à tecnologia em si, e não à distinção entre o produto original e a cópia. O resultado é a perda de mercado para o inovador, mesmo que ele vença a disputa posteriormente. Mendi e Costamagna (2017) observam que a competição baseada em imitação, especialmente por agentes que não arcam com os custos de P&D, reduz o incentivo para o lançamento de novos produtos. Pérez et al. (2021) argumentam que essa assimetria institucional afeta particularmente startups e empresas deep tech, cuja sobrevivência depende da recuperação dos investimentos iniciais em pesquisa e desenvolvimento.

Essa fragilidade institucional se intensifica quando combinada ao funcionamento das compras públicas. Segundo R.O., “em compras públicas: se eu tiver patente e apareceu outro que não tem patente com preço menor, eles compram quem tem preço menor”. Nesse cenário, mesmo uma tecnologia protegida por patente pode perder uma licitação para um produto similar oferecido por um concorrente que não investiu em P&D. O inovador, nesse caso, precisa contestar judicialmente o resultado, processo que envolve custos e prazos elevados.

Esse problema está relacionado ao desenho tradicional do sistema de compras públicas brasileiro. Durante décadas, o modelo regulado pela Lei nº 8.666 privilegiou a aquisição de bens padronizados com base no menor preço, o que dificulta a contratação de soluções tecnológicas inovadoras, que frequentemente incorporam custos associados ao desenvolvimento pioneiro (Ibanez, 2021). Embora novos marcos legais tenham introduzido instrumentos como margens de preferência, encomendas tecnológicas e diálogos competitivos, a prática administrativa ainda tende a priorizar o critério de preço nas compras rotineiras. Como observam De Negri (2021) e Rauen et al. (2021), essa cultura institucional reduz a vantagem competitiva que a proteção por patente deveria assegurar.

Quando o próprio Estado opta por adquirir produtos de imitadores em razão do menor preço, ele reforça esse incentivo econômico. A partir disso, a imitação torna-se mais vantajosa do que a inovação formal, pois o agente que copia evita os custos e os riscos associados ao desenvolvimento tecnológico. Mendi e Costamagna (2017) e Pérez et al. (2021) apontam que esse tipo de ambiente institucional reduz a disposição das empresas para investir em P&D, uma vez que a possibilidade de apropriação dos retornos da inovação se torna incerta.

Sem mecanismos que acelerem a proteção jurídica ou que incorporem critérios de inovação nas aquisições públicas, o incentivo econômico dominante tende a favorecer estratégias de imitação em vez do desenvolvimento tecnológico original.

5.3 RELACIONANDO AS ENTREVISTAS COM OS RESULTADOS DO CAPÍTULO 4

A triangulação metodológica, entendida como a combinação de evidências qualitativas das entrevistas com os dados quantitativos analisados no Capítulo 4, permite identificar cinco pontos principais de convergência analítica (Flick, 2008). A primeira convergência relaciona a categoria CF1 (Estado como financiador) com os resultados setoriais apresentados no Capítulo 4. Nas entrevistas, ambos os participantes afirmam que a subvenção pública é condição necessária para a existência de suas empresas. Essa percepção encontra correspondência nos dados quantitativos.

A análise conjunta dos dados quantitativos e qualitativos ganha profundidade quando interpretada à luz da Hélice Sêxtupla (Labiak Junior, 2012). Os resultados do Capítulo 4 revelaram que o financiamento público se concentra no eixo Sul-Sudeste e privilegia grandes corporações e deep techs, enquanto as entrevistas mostraram que o acesso ao sistema de fomento depende de um "letramento em projetos" (entendido aqui como o conjunto de competências institucionais necessárias para elaborar, submeter e gerir projetos dentro das exigências burocráticas dos programas de fomento, categoria emergente da análise das entrevistas e detalhada na seção 5.2.3). A Hélice Sêxtupla oferece um instrumental analítico específico para esse fenômeno: ao distinguir "habitats de inovação" e "instituições de apoio" como atores autônomos, separados do governo e da universidade, o modelo identifica que é justamente a ausência desses dois tipos de atores mediadores (e não de governo ou universidade) o que diferencia regiões periféricas das centrais. A concentração do financiamento ocorre onde os seis atores estão densamente articulados (Figueiredo et al., 2022); onde faltam habitats de inovação ou instituições mediadoras como o SEBRAE, o ecossistema permanece incompleto e o financiamento não se converte em inovação difundida (Labiak Junior, 2012).

A análise setorial do BNDES Inovação mostra que os setores com maior valor médio por operação, como Software, Tecnologia da Informação e Petróleo e Gás, são justamente aqueles com maior intensidade de P&D e maior dependência de financiamento público de longo prazo. Assim, a concentração de recursos em setores intensivos em tecnologia confirma empiricamente o argumento dos entrevistados de que o fomento público atua como condição estrutural para a inovação empresarial.

A segunda convergência conecta a categoria CF2 (o Choque Institucional) com a análise do perfil das empresas beneficiárias. Nas entrevistas, F.B. afirma que as barreiras burocráticas do sistema de fomento não afetam todas as empresas da mesma forma. Essa

observação encontra correspondência nos dados apresentados no Capítulo 4. A distribuição do BNDES Inovação por porte empresarial mostra uma bifurcação clara: os maiores valores médios por operação concentram-se em dois polos: microempresas tecnológicas e grandes empresas. Contudo, apenas o primeiro polo, o das microempresas tecnológicas, é comparável ao perfil das empresas entrevistadas no âmbito do PIPE FAPESP, conforme explicado na seção 4.3.3. As grandes empresas constituem um perfil distinto e não integram essa convergência.

Empresas médias e pequenas convencionais apresentam valores significativamente menores, o que indica que o acesso ao crédito favorece os extremos: quem tem alta capacidade técnica (microempresas deep tech) ou alta escala organizacional (grandes empresas). No caso das microempresas do BNDES, como detalhado na seção 4.3.3, trata-se de startups classificadas como "micro" pelo critério de faturamento (ROB), mas que desenvolvem projetos de P&D de alta complexidade, perfil idêntico ao das empresas atendidas pelo PIPE FAPESP, programa voltado exclusivamente a micro e pequenas empresas de base tecnológica (FAPESP, 2022). É essa equivalência de perfil que sustenta a triangulação; o polo das grandes empresas do BNDES Inovação, por operar em lógica completamente distinta, não integra essa convergência qualitativa.

A terceira convergência relaciona a categoria **CF3** com a análise regional apresentada no Capítulo 4. Nas entrevistas, R.O. afirma que muitos estados “nem sabem que existe um fundo de pesquisa no próprio estado”, indicando assimetria informacional e institucional no acesso ao fomento. Os dados regionais do programa BNDES Máquinas 4.0 confirmam essa percepção.

O estado de São Paulo concentra 43,3% das operações do programa, enquanto outros estados apresentam participação muito menor, mesmo quando possuem alto valor médio por operação. Essa concentração regional também aparece em indicadores nacionais de inovação. O Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento (IBID) mostra que São Paulo apresenta desempenho aproximadamente 3,1 vezes superior à média nacional em diferentes dimensões do sistema de inovação (INPI, 2025). Esse resultado reforça a interpretação de que a desigualdade territorial na inovação está associada à concentração de instituições científicas, empresas tecnológicas e instrumentos regionais de financiamento.

A quarta convergência relaciona a categoria CF4 (Lacuna da Demanda) com os resultados da PINTEC discutidos no Capítulo 4. Nas entrevistas, F.B. descreve a dificuldade de transformar tecnologias tecnicamente viáveis em produtos comercializados, identificando um segundo "Vale da Morte" relacionado à ausência de demanda. Os dados da PINTEC mostram que a taxa de inovação da indústria brasileira caiu de 70,5% em 2021 para 64,6% em

2023, mesmo em um período de expansão dos desembolsos do BNDES. Cabe registrar duas ressalvas metodológicas: a comparação entre edições da PINTEC pressupõe estabilidade nos critérios de coleta, e há defasagem temporal entre o desembolso do crédito e o registro de inovação comercializada, o que limita inferências causais diretas sobre a relação entre os dois indicadores. Ainda assim, a queda observada é consistente com o argumento de que o financiamento público consegue apoiar a geração de tecnologia nas fases iniciais, mas enfrenta limitações quando não há mecanismos que estimulem a adoção dessas tecnologias pelo mercado.

A quinta convergência relaciona a categoria CF5 (Insegurança Jurídico-Institucional) com a dinâmica competitiva observada em determinados setores. Nas entrevistas, R.O. afirma que o critério de menor preço nas compras públicas reduz o incentivo à inovação patenteada. Os dados quantitativos disponíveis não permitem capturar diretamente essa dinâmica jurídica; a convergência aqui é de natureza interpretativa: o relato de R.O. oferece uma explicação plausível para padrões observados nos dados setoriais, mas que requereria análise específica de dados de propriedade intelectual e compras públicas para ser confirmada empiricamente. No Brasil, o intervalo médio entre o depósito e a concessão de uma patente ultrapassa sete anos (INPI, 2025), período denominado aqui "janela de exposição", durante o qual a tecnologia está parcialmente revelada, mas sem proteção plena. Como apontam Mendi e Costamagna (2017), esse ambiente reduz a disposição das empresas para investir em P&D, pois concorrentes com maior escala produtiva podem incorporar a solução antes que a proteção jurídica entre em vigor.

Em conjunto, essas cinco triangulações mostram que os resultados qualitativos das entrevistas e os dados quantitativos do Capítulo 4 apontam para um mesmo diagnóstico estrutural: o sistema brasileiro de fomento consegue apoiar o desenvolvimento tecnológico nas fases iniciais da inovação, mas enfrenta limitações relacionadas ao acesso, à coordenação institucional, à formação de demanda e ao ambiente regulatório.

5.4 LIMITAÇÕES DA ANÁLISE

Para finalizar, a presente análise apresenta algumas limitações metodológicas que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Primeiramente, o corpus empírico é reduzido, composto por apenas dois entrevistados. Esse ponto é particularmente relevante no caso de CF5, cuja evidência empírica deriva exclusivamente do relato de um dos entrevistados.

Outra limitação refere-se ao possível viés de sobrevivência. Ambos os entrevistados representam empresas que conseguiram acessar instrumentos de fomento e permanecem em atividade no mercado. Dessa forma, a análise não inclui a experiência de empresas que não conseguiram atravessar as etapas críticas do processo de inovação e encerraram suas atividades. Essas trajetórias poderiam oferecer evidências adicionais especialmente sobre as barreiras associadas às categorias CF2, CF3 e CF4.

Também se observa uma limitação geográfica na composição do corpus. Os dois entrevistados estão localizados no estado de São Paulo, região que concentra uma parcela significativa das instituições científicas, dos programas de fomento e das redes de inovação do país. Essa concentração territorial pode influenciar a percepção sobre o funcionamento do sistema de fomento e restringe a validade da análise da categoria CF3, relacionada às assimetrias regionais, a partir de um ponto de vista situado no principal polo do sistema de inovação brasileiro.

Do ponto de vista metodológico, a definição inicial das categorias CF1 a CF4 ocorreu de forma a priori, com base no referencial teórico adotado. Esse procedimento pode introduzir risco de confirmação analítica, na medida em que orienta a interpretação dos dados para categorias previamente definidas. A emergência da categoria CF5 a partir do material empírico atua como um elemento corretivo parcial desse viés, reforçando a importância de explicitar as escolhas metodológicas realizadas ao longo da pesquisa.

Por fim, a análise não incorpora evidências negativas relacionadas ao PIPE, pois todos os entrevistados são beneficiários do programa. A inclusão de empresas que tentaram acessar o instrumento sem sucesso poderia ampliar a compreensão sobre os mecanismos de seleção do sistema e contribuir para aprofundar a análise das barreiras associadas ao acesso ao fomento.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese analisou a dinâmica, o papel e os gargalos institucionais do financiamento público à Indústria 4.0 no Brasil, com o objetivo de compreender de que forma estas políticas mitigam o risco tecnológico e quais barreiras estruturais limitam a consolidação das inovações no mercado.

Na dimensão quantitativa, correspondente à esfera nacional, foram cumpridos os Objetivos Específicos 1 e 2, voltados ao mapeamento do arranjo institucional e à identificação da vocação dos instrumentos de fomento. A análise evidenciou uma divisão funcional no Sistema Nacional de Inovação: a FINEP atua principalmente por meio da subvenção econômica, assumindo o risco elevado das fases iniciais da inovação e apoiando projetos de fronteira tecnológica; o BNDES, por sua vez, opera sobretudo na difusão tecnológica e na ampliação da escala produtiva por meio de crédito reembolsável, como nos programas BNDES Inovação e BNDES Máquinas 4.0, voltados à modernização do parque industrial e à incorporação de tecnologias digitais.

Apesar dessa complementaridade institucional, o mapeamento revelou assimetrias. Regionalmente, o financiamento reproduz a concentração geoeconômica do sistema produtivo brasileiro, com predominância do eixo Sul-Sudeste na captação de recursos. Em relação ao porte empresarial, observou-se uma bifurcação no acesso: o sistema concentra volumes relevantes em grandes corporações e em microempresas intensivas em P&D (deep techs), enquanto parte significativa das pequenas e médias empresas tradicionais permanece relativamente afastada do processo de transição para a Indústria 4.0.

Essa assimetria ajuda a explicar o cenário revelado pelo Objetivo 3, que contextualizou o fomento frente aos indicadores macroeconômicos. A análise atestou um forte paradoxo: embora o Estado brasileiro aporte bilhões, a taxa de inovação da indústria caiu para 64,6% na PINTEC 2023. Em paralelo, o *benchmarking* global mostrou que o Brasil recuou para a 52ª posição no Índice Global de Inovação (IGI) em 2025. Isso prova que a injeção isolada de capital financeiro é insuficiente para mover o desempenho agregado quando o país esbarra em âncoras estruturais, como o déficit de profissionais STEM, o alto custo de capital e o ambiente de negócios hostil.

Para explicar essa ineficiência sistêmica evidenciada na PINTEC e no IGI, a pesquisa desceu da esfera federal macro para o nível da firma na esfera estadual, analisando qualitativamente as empresas beneficiárias do PIPE-FAPESP (Objetivos 4 e 5). As entrevistas confirmaram que o Estado exerce papel central como absorvedor do risco tecnológico inicial

(CF1), sendo a subvenção pública condição decisiva para que projetos atravessassem o primeiro “Vale da Morte” da inovação.

Ao mesmo tempo, foram identificados gargalos que dificultam a inserção comercial dessas tecnologias. Destacam-se o choque institucional entre a lógica iterativa da inovação e a rigidez burocrática dos instrumentos públicos (CF2); o acesso ao sistema de fomento como barreira institucional associada ao “letramento em projetos” necessário para participar dos editais (CF3); a lacuna de demanda, na qual o Estado financia a geração de tecnologia, mas raramente utiliza seu poder de compra para adotá-la (CF4); e a insegurança jurídico-institucional relacionada à morosidade das patentes e à predominância do critério de menor preço nas compras públicas (CF5).

A síntese da tese indica que o Brasil dispõe de um sistema de fomento que inova, que transforma pesquisa em protótipo, mas com lacunas na etapa de inserção comercial das tecnologias desenvolvidas. Os instrumentos públicos sustentam as fases iniciais do processo inovativo, mas apresentam limitações na criação de mercado e na difusão das inovações. Assim, a consolidação da Indústria 4.0 no país depende não apenas da continuidade do financiamento à pesquisa aplicada, mas também da evolução institucional das políticas públicas, especialmente por meio do uso estratégico das compras governamentais e da simplificação de procedimentos burocráticos.

A Hélice Sêxtupla, mobilizada como lente analítica ao longo da pesquisa, precisou desse diagnóstico. O modelo evidenciou que tratar o “Estado” como ator único obscurece a tensão entre suas funções de financiador e de regulador-comprador: as agências de fomento viabilizam o risco tecnológico inicial, mas o poder público, como comprador, permanece ausente na fase de inserção comercial. Além disso, a concentração regional do financiamento coincide com a presença desigual dos seis tipos de atores no território: onde faltam habitats de inovação e mediadores institucionais, o ecossistema permanece incompleto e o investimento público não se converte em inovação difundida.

Os limites desta pesquisa apontam direções para investigações futuras. A análise qualitativa concentrou-se em empresas que conseguiram acessar o financiamento e permanecer ativas, sugerindo a necessidade de investigar também organizações que não obtiveram apoio ou que interromperam seus projetos durante o processo. Também se recomenda incorporar a perspectiva das próprias agências de fomento, bem como ampliar a investigação para outras regiões do país, onde as assimetrias institucionais tendem a ser mais intensas. Além disso, a questão da insegurança jurídico-institucional da propriedade intelectual demanda análise adicional em setores industriais expostos à concorrência tecnológica internacional.

Outra agenda urgente é mensurar o impacto do financiamento público por indicadores de resultado das empresas apoiadas: depósitos de patentes, faturamento pós-fomento e empregos qualificados criados. Esses indicadores, combinados a grupos de controle, permitiriam avaliar a efetividade do investimento público de forma sistemática e comparável entre programas e regiões.

Cabe ainda registrar uma limitação operacional relevante relacionada à obtenção de dados e à identificação de participantes para a etapa qualitativa. Foram realizados contatos telefônicos e enviados e-mails para FAPESP, FINEP e BNDES solicitando informações sobre possíveis beneficiários que pudessem participar da pesquisa, mas não foi possível obter indicações formais. Dessa forma, os contatos utilizados nas entrevistas foram obtidos por meio de rede de relacionamento e acesso por conveniência, o que acabou concentrando o corpus qualitativo em empresas vinculadas ao ecossistema da FAPESP. Essa condição restringe a amplitude empírica da investigação, embora não comprometa a validade analítica dos resultados apresentados.

REFERÊNCIAS

ABDAL, Alexandre. Contribuição à crítica da política industrial no Brasil entre 2004 e 2014. *Novos estudos CEBRAP*, v. 38, n. 2, p. 437-456, 2019.

ABDI — Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Relatório de mapeamento da cadeia produtiva da Indústria 4.0 no Brasil. Brasília: ABDI, 2016.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Agenda Brasileira para a Indústria 4.0. Brasília, DF: ABDI, 2018. Disponível em: <https://www.abdi.com.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília, DF: ABDI, 2024a. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/institucional/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Institucional. Brasília, DF: ABDI, 2026b. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/institucional/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Perguntas frequentes. Brasília, DF: ABDI, 2026a. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/faq/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Plano de Ação 2026. Brasília, DF: ABDI, 2026c. Disponível em: https://www.abdi.com.br/wp-content/uploads/2026/01/ABDI___Plano_de_Acao_2026.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

ADHIKARI, R. Fourth industrial revolution: From least developed countries to knowledge societies. *Corridors of knowledge for peace and development*, p. 41-66, 2020.

AERTS, Kris; SCHMIDT, Tobias. "Two for the price of one? Additionality effects of R&D subsidies: A comparison between Flanders and Germany." *Research Policy*, v. 37, n. 5, p. 806–822, 2008.

ALMEIDA, P. R. O Brasil e a nanotecnologia: rumo à Quarta Revolução Industrial. *Espaço Acadêmico Maringá*, n. 52, set. 2005. Disponível em: <https://diplomattizando.blogspot.com/2011/09/o-brasil-e-nanotecnologia-paulo-roberto.html>. Acesso em: mar. 2025.

AMSDEN, A. H. *The rise of the rest: challenges to the west from late-industrializing economies*. New York: Oxford University Press, 2001.

ARAÚJO, E.; ANDRIATO, M.; RODRIGUES, R. Financiamento público como política para o desenvolvimento industrial no Brasil: auge e declínio no limiar do século XXI. In: *Industrialização e desindustrialização no Brasil: teorias, evidências e implicações de política*. Curitiba: Appris, 2023.

AUERSWALD, P. E.; BRANSCOMB, L. M. Valleys of Death and Darwinian Seas: Financing the Invention to Innovation Transition in the United States. *The Journal of Technology Transfer*, v. 28, n. 3-4, p. 227-239, 2003.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

BASA. Banco da Amazônia. Plano de Aplicação de Recursos do FNO 2018: Fomento ao Polo Industrial de Manaus. Belém: BASA, 2018.

BASF. Digitalization in Production: Digital Twins. Ludwigshafen: BASF SE, 2019.

BETARELLI JUNIOR, A. A. et al. Research and development, productive structure and economic effects: Assessing the role of public financing in Brazil. *Economic Modelling*, v. 90, p. 235-253, 2020.

BLAZOLI, L. et al. From brain drain to brain circulation: International researcher mobility in Brazilian health and life sciences (2005–2020). *Quantitative Science Studies*, Advance publication, 2026.

BIELSCHOWSKY, Ricardo. Pensamento econômico brasileiro: o ciclo ideológico do desenvolvimentismo. Rio de Janeiro: IPEA/INPES, 1988.

BIN, Daniel. Desposseções no capitalismo histórico: expansão ou exaustão do sistema. 2020. In: MENEZES, Roberto Goulart; BRUSSI, Antônio José Escobar; COSTA, Jales Dantas da (org.). *Repensando o Trabalho, as desigualdades e as hierarquias: o sistema-mundo no século XXI*. Brasília: Universidade de Brasília, 2020. p. 486.

BITTENCOURT, P. F.; RAUEN, A. T. Políticas de Inovação: racionalidade, instrumentos e coordenação. In: RAPINI, M. S. et al. (Org.). *Economia da Ciência, Tecnologia e Inovação: Fundamentos teóricos e a economia global*. 2. ed. Belo Horizonte: FACE - UFMG, 2021. p. 516–541.

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES já aprovou R\$ 27 bi na linha de crédito para Indústria 4.0. Rio de Janeiro: BNDES, 2025. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/industria/BNDES-ja-aprovou-R\\$-27-bi-na-linha-de-credito-para-industria-4.0/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/industria/BNDES-ja-aprovou-R$-27-bi-na-linha-de-credito-para-industria-4.0/). Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES Finame Máquinas 4.0. Rio de Janeiro: BNDES, 2026c. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-maquinas-40>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES anuncia mais R\$ 70 bi e NIB alcançará R\$ 370 bi em quatro anos. Rio de Janeiro: BNDES, [2024]. Disponível em: <https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/industria/BNDES-anuncia-mais-RhBc70-bi-e-NIB-alcancara-RhBc370-bi-em-quatro-anos/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES Mais Inovação: guia de financiamento. Rio de Janeiro: BNDES, 2026d. Disponível em: https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/guia-do-financiamento/!ut/p/z0/fY9Bb4JAEIV_iweOZBekSo-bPUDMGkVDQvdiRlxxrMwirKQ_v1vixaTtbebNy_fmMc0qpplGbmMChJbj5_UMvDqtUyfw94SqL9wsutkU0z3dLMslWzHtDesik7IIpWpKOZFmW6LfZrPNzL5IcT9Wq4bpjtwlxDpbFnV9bbpoYXwSCczC3g4C92hBqsH0YzOGwNOfsM-OcDH4DX-10LpmtLznw5Vk3UA5KnuEc9VQn4xbYm4GckoBphog8Bbx4I4Yv41E72Vf6jye_e7lMf326jEmI2-wZMlrHA/. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Estatísticas Operacionais do Sistema BNDES. Rio de Janeiro: BNDES, 2025a. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/estatisticas-desempenho/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Formas de apoio. Rio de Janeiro: BNDES, 2026b. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/formas-de-apoio>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Fundo Tecnológico (Funtec): normas e procedimentos. Rio de Janeiro: BNDES, 2024b.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Nossa história. Rio de Janeiro: BNDES, 2026a. Disponível em: <https://ri.bndes.gov.br/sobre-o-bndes/nossa-historia/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Programa BNDES Mais Inovação – Difusão Tecnológica. Rio de Janeiro: BNDES, 2026e. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/programa-bndes-mais-inovacao-difusao-tecnologica>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. Quem pode ser cliente BNDES. Rio de Janeiro: BNDES, 2026f. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/quem-pode-ser-cliente>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BORGES, M. N. O desfinanciamento da ciência e a fuga de cérebros no Brasil. *Jornal da Ciência / SBPC*, 2021.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Painel de Transparência do Plano Mais Produção. Rio de Janeiro: BNDES, 2026b. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/transparencia/estatisticas-desempenho/painel-plano-mais-producao>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). BNDES lança plataforma de acompanhamento do Mais Inovação que já aprovou R\$ 21,95 bi em crédito. Agência BNDES de Notícias, Rio de Janeiro, 2024a. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/industria/BNDES-lanca-plataforma-de-acompanhamento-do-Mais-Inovacao-que-ja-aprovou-R\\$-2195-bi-em-credito/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/industria/BNDES-lanca-plataforma-de-acompanhamento-do-Mais-Inovacao-que-ja-aprovou-R$-2195-bi-em-credito/). Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais. Brasília: CNS, 2016b. Disponível em: <https://conselho.saude.gov.br/resolucoes/2016/Reso510.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. Altera e adiciona dispositivos na Constituição Federal para atualizar o tratamento das atividades de ciência, tecnologia e inovação. 2015. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc85.htm. Acesso em: 02 abr. 2025.

BRASIL. Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Boletim NIB - Observatório da Finep: edição especial NIB. Rio de Janeiro: FINEP, 2024b. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Observatorio_da_Finep/28_10_2024_Boletim_NIB_Edicao_0.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Boletim Mensal de Propriedade Industrial: estatísticas preliminares. Rio de Janeiro: INPI, 2025a. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/inpi-data/relatorios/boletins-mensais-de-pi>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Brasil está na 52ª posição no Índice Global de Inovação da OMPI. Rio de Janeiro: INPI, 2025b. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/central-de-conteudo/noticias/brasil-esta-na-52a-posicao-no-indice-global-de-inovacao-da-ompi>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento (IBID) 2025: relatório completo. Rio de Janeiro: INPI, 2025c. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/inpi-data/indice-brasil-de-inovacao-de-desenvolvimento-ibid/ibid_2025_pt-br-final.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 10.168, de 29 de dezembro de 2000. Institui contribuição de intervenção de domínio econômico destinada a financiar o Programa de Estímulo à Interação Universidade-Empresa para o Apoio à Inovação e dá outras providências. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10168.htm. Acesso em: 01 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2004b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 11.080, de 30 de dezembro de 2004. Autoriza o Poder Executivo a instituir o Serviço Social Autônomo Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2004a.

BRASIL. Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005. Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação - REPES, o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras - RECAP e o Programa de Inclusão Digital; dispõe sobre incentivos fiscais para a inovação tecnológica; altera o Decreto-Lei nº 288, de 28 de fevereiro de 1967, o Decreto nº 70.235, de 6 de março de 1972, o Decreto-Lei nº 2.287, de 23 de julho de 1986, as Leis nºs 4.502, de 30 de novembro de 1964, 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.245, de 18 de outubro de 1991, 8.387, de 30 de dezembro de 1991, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.981, de 20 de janeiro de 1995, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, 8.989, de 24 de fevereiro de 1995, 9.249, de 26 de dezembro de 1995, 9.250, de 26 de dezembro de 1995, 9.311, de 24 de outubro de 1996, 9.317, de 5 de dezembro de 1996, 9.430, de 27 de dezembro de 1996, 9.718, de 27 de novembro de 1998, 10.336, de 19 de dezembro de 2001, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.485, de 3 de julho de 2002, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.755, de 3 de novembro de 2003, 10.833, de 29 de dezembro de 2003, 10.865, de 30 de abril de 2004, 10.925, de 23 de julho de 2004, 10.931, de 2 de agosto de 2004, 11.033, de 21 de dezembro de 2004, 11.051, de 29 de dezembro de 2004, 11.053, de 29 de dezembro de 2004, 11.101, de 9 de

fevereiro de 2005, 11.128, de 28 de junho de 2005, e a Medida Provisória nº 2.199-14, de 24 de agosto de 2001; revoga a Lei nº 8.661, de 2 de junho de 1993, e dispositivos das Leis nºs 8.668, de 25 de junho de 1993, 8.981, de 20 de janeiro de 1995, 10.637, de 30 de dezembro de 2002, 10.755, de 3 de novembro de 2003, 10.865, de 30 de abril de 2004, 10.931, de 2 de agosto de 2004, e da Medida Provisória nº 2.158-35, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Presidência da República, 2005. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/111196.htm. Acesso em: 04 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e altera a Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004, a Lei nº 6.815, de 19 de agosto de 1980, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, a Lei nº 12.462, de 4 de agosto de 2011, a Lei nº 8.745, de 9 de dezembro de 1993, a Lei nº 8.958, de 20 de dezembro de 1994, a Lei nº 8.010, de 29 de março de 1990, a Lei nº 8.032, de 12 de abril de 1990, e a Lei nº 12.772, de 28 de dezembro de 2012, nos termos da Emenda Constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015. 2016c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm. Acesso em: 04 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 13.334, de 13 de setembro de 2016. Cria o Programa de Parcerias de Investimentos – PPI; institui o Conselho do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República; altera a Lei nº 10.683, de 28 de maio de 2003, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2016a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/113334.htm. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília: Presidência da República, 2018b. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Lei nº 13.969, de 26 de dezembro de 2019. Dispõe sobre a política industrial para o setor de tecnologias da informação e comunicação e para o setor de semicondutores e altera a Lei nº 11.484, de 31 de maio de 2007, a Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991, a Lei nº 10.637, de 30 de dezembro de 2002, e a Lei nº 8.387, de 30 de dezembro de 1991. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/113969.htm. Acesso em: 04 abr. 2025.

BRASIL. Lei nº 8.248, de 23 de outubro de 1991. Dispõe sobre a capacitação e competitividade do setor de informática e automação, e dá outras providências. 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18248.htm. Acesso em: 04 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Câmara do Agro 4.0: Plano de Ação 2021–2024. Brasília, DF: MAPA; MCTI, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/agricultura-digital/PlanodeAodaCmaradoAgro4.0.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). FNDCT executa 100% dos recursos disponibilizados para 2024. Brasília, DF: MCTI, 2024c. Disponível em:

<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/12/fndct-executa-100-dos-recursos-disponibilizados-para-2024>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Relatório de Gestão do FNDCT 2020. Brasília, DF: MCTI, 2020.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Edital de Bônus Tecnológico nº 01/2018: Inovação para MPEs. Brasília, DF: MCTIC, 2018a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Brasil Mais Produtivo: programa de eficiência operacional. Brasília, DF: MDIC, 2026a. Disponível em: <https://brasilmaisprodutivo.mdic.gov.br/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Nova Indústria Brasil: lançamento da nova política industrial 2024-2033. Brasília, DF: MDIC, 2024d. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-acoes-para-o-desenvolvimento-ate-2033>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Nova indústria brasil: metas e ações do plano mais produção. Brasília, DF: MDIC, 2025e.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). Nova Indústria Brasil: Missões e Metas 2024-2033. Brasília, DF: MDIC, 2025g.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (Mdic). Nova Indústria Brasil (NIB): Missão 4 - Transformação Digital para a Produtividade. Brasília, DF: Mdic, 2025f. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC). NIB completa 1 ano com R\$ 3,4 trilhões de investimentos e crescimento industrial. Brasília, DF: MDIC, 2025d. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/fevereiro/nib-completa-1-ano-com-r-3-4-trilhoes-de-investimentos-e-crescimento-industrial>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Empreendedorismo, da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte (MEMP). Mapa de Empresas: boletim do 2º quadrimestre de 2025. Brasília, DF: MEMP, 2025i. Disponível em: <https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/mapa-de-empresas/boletins/mapa-de-empresas-boletim-2o-quadrimestre-2025.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Empreendedorismo, da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte (MEMP). Mapa de Empresas: boletim do 1º quadrimestre de 2025. Brasília, DF: MEMP, 2025h. Disponível em: <https://www.gov.br/empresas-e-negocios/pt-br/mapa-de-empresas/boletins/mapa-de-empresas-boletim-1o-quadrimestre-2025-pdf.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Tribunal de Contas da União (TCU). Universidades federais têm baixa implementação do novo marco de ciência e tecnologia: relatório de auditoria operacional. Brasília, DF: TCU, 2022. (Acórdão 1.832/2022 – TCU – Plenário). Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/imprensa/noticias/universidades-federais-tem-baixa-implementacao-de-novo-marco-de-ciencia-e-tecnologia>. Acesso em: 14 jan. 2026.

BUSH, Vannevar et al. As we may think. The atlantic monthly, v. 176, n. 1, p. 101-108, 1945.

BUSOM, Isabel. "An empirical evaluation of the effects of R&D subsidies." Economics of Innovation and New Technology, v. 9, n. 2, p. 111–148, 2000.

CANO, Wilson. A desindustrialização no Brasil. Economia e Sociedade, Campinas, v. 21, n. esp., p. 831-851, dez. 2012.

CANUTO, L. T.; OLIVEIRA, A. A. S. Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. Psicologia em Revista, Belo Horizonte, v. 26, n. 1, p. 83-102, 2020.

CARIO, S. A. F.; LEMOS, D. C.; BITTENCOURT, P. F. Sistema Regional de Inovação e Desenvolvimento. Anais do 1º Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação, p. 1-18, 2016.

CARNEIRO, A. M. et al. Diáspora brasileira de ciência, tecnologia e inovação: Panorama, iniciativas auto-organizadas e políticas de engajamento. Ideias, v. 11, e020010, 2020.

CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações de política. São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 1, p. 34-45, 2005.

CAVALCANTE, P. L. C. (Org.). Inovação e políticas públicas: superando o mito da ideia. Brasília: ENAP, 2019.

CARAYANNIS, Elias G.; CAMPBELL, David F. J. '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.; BARTH, Thorsten D.; CAMPBELL, David F. J. The Quintuple Helix innovation model: global warming as a challenge and driver for innovation. Journal of Innovation and Entrepreneurship, v. 1, n. 2, p. 1–12, 2012.

CHANG, Ha-Joon; ANDREONI, Antonio. Trazendo a produção de volta ao desenvolvimento: uma introdução. European Journal of Development Research, v. 33, n. 2, p. 165–178, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33679007/>. Acesso em: 12 mar. de 2025.

CHANG, H-J. The Economic theory of the developmental State. In: WOO-CUMINGS, M. (Ed.). The developmental State. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1999. p. 00-00.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Plano de Retomada da Indústria: uma nova estratégia, focada em inovação, descarbonização, inclusão social e crescimento sustentável. Brasília, DF: CNI, 2023.

COHEN, Wesley M.; LEVINTHAL, Daniel A. "Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation." Administrative Science Quarterly, v. 35, n. 1, p. 128–152, 1990.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Indústria 4.0: cinco anos depois. Sondagem Especial, ano 21, n. 83, abril 2022. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/7d/d9/7dd92b31-8860-4ca7-b921-

b28fec0a68bc/sondespecial_industria40_cincoanosdepois_abril2022.pdf. Acesso em: 2 fev. 2025.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). ProFix: promoção e fixação de pesquisadores. Brasília, DF: CNPq, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/cnpq/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/profix/profix>. Acesso em: 14 jan. 2026.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq). Portaria nº 2565, de 12 de dezembro de 2025. Programa Conhecimento Brasil: atração e fixação de talentos. Brasília, DF: CNPq, 2025. Disponível em: http://memoria2.cnpq.br/web/guest/view/-/journal_content/56_INSTANCE_0oED/10157/22997482. Acesso em: 14 jan. 2026.

CORIAT, B. O roubo de patentes e a insegurança institucional na inovação. São Paulo: Unesp, 2011.

COSTA, R. A geografia da inovação no Brasil: concentração regional e fundos de pesquisa. Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos, 2024.

CRESWELL, John W. Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

CRESWELL, John W.; PLANO CLARK, Vicki L. Designing and Conducting Mixed Methods Research. 3. ed. Thousand Oaks: Sage, 2017.

CUNHA, E.P. Keynes, Hayek e Friedman: Pensamento Econômico como Ideologia na Combinação Histórica dos Métodos de Administração Política do Capital a partir da Renovação do (Neo)Liberalismo. In: Encontro da ANPAD - XLVI., 2022, Maringá. Anais. Disponível em: < <https://anpad.com.br/uploads/articles/120/approved/78679495fe70bfa486d8aaff1a2e4aa9.pdf> >. Acesso em: abr. 2025.

DALENOGARE, Lucas Santos et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. International Journal of production economics, v. 204, p. 383-394, 2018.

DAMANPOUR, F.; WISCHNEVSKY, J. D. Research on innovation in organizations: Distinguishing innovation-generating from innovation-adopting organizations. Journal of Engineering and Technology Management, v. 23, n. 4, p. 269-291, 2006.

DAVID, Paul A.; HALL, Bronwyn H.; TOOLE, Andrew A. "Is public R&D a complement or substitute for private R&D? A review of the econometric evidence." Research Policy, v. 29, n. 4-5, p. 497-529, 2000.

DE NEGRI, F. Elementos para a análise da baixa inovatividade brasileira e o papel das políticas públicas. Revista USP, n. 93, p. 81-100, 2012.

DE NEGRI, F. et al. Pesquisa de Inovação (PINTEC): Limites e possibilidades metodológicas. Brasília: IPEA, 2016.

DE NEGRI, F. Políticas de inovação no Brasil: análise de instrumentos e resultados. Brasília, DF: IPEA, 2021.

DE NEGRI, F. Políticas de inovação no brasil: análise de instrumentos e resultados. Brasília, DF: Ipea, 2021.

DE NEGRI, F.; SQUEFF, C. C. Sistemas de inovação e patentes no Brasil. Brasília: IPEA, 2016.

DEAN, M. et al. Overcoming the valley of death: Grant management and compliance in deep tech startups. *Technovation*, v. 115, 2022.

DIAMANDIS, Peter H.; KOTLER, Steven. *Bold: how to go big, create wealth and impact the world*. New York: Simon & Schuster, 2015.

DILLMAN, Don A.; SMYTH, Jolene D.; CHRISTIAN, Leah Melani. *Internet, Phone, Mail, and Mixed-Mode Surveys: The Tailored Design Method*. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2014.

DOCTOR, M. *Business-State relations in Brazil: Challenges of the port reform lobby*. Routledge, 2014.

DUNHAM, F. B. et al. Densidade tecnológica no contexto da nova política industrial. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 31, n. 60, p. 49-80, 2025.

DUTTA, Soumitra; LANVIN, Bruno; WUNSCH-VINCENT, Sacha (Eds.). *Global Innovation Index 2023: Innovation in the face of uncertainty*. Geneva: WIPO, 2023. Disponível em: <https://www.globalinnovationindex.org>. Acesso em: 14 jan. 2026.

DUTZ, M. A. *Jobs and Growth: Brazil's Productivity Agenda*. Washington, DC: World Bank Group, 2018.

EDLER, J.; GEORGHIOU, L. Public procurement and innovation: Resurrecting the demand side. *Research Policy*, v. 36, n. 7, p. 949–963, 2007.

ELLWOOD, P.; WILLIAMS, C.; EGAN, J. Crossing the valley of death: Five underlying innovation processes. *Technovation*, v. 109, 102162, 2022.

ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. "The qualitative content analysis process." *Journal of Advanced Nursing*, v. 62, n. 1, p. 107–115, 2008.

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. *Embrapii e a inovação público-privada*. Brasília, DF: Embrapii, 2026b. Disponível em: <https://embrapii.org.br/embrapii-e-a-inovacao-publico-privada/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. *Manual de Operação Embrapii – Unidades Embrapii: versão 6.0*. Brasília, DF: Embrapii, 2020. Disponível em: https://storage.googleapis.com/uploads-site-embrapii/2025/01/Manual_EMBRAPII_UE_versao-6.0-de-20.10.20.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. *Manual de operação Embrapii v. 4.0*. Brasília, DF: Embrapii, 2018.

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. O modelo Embrapii: fomento à inovação industrial. Brasília, DF: Embrapii, 2024a.

EMBRAPII. Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial. Sobre a Embrapii. Brasília, DF: Embrapii, 2026a. Disponível em: <https://embrapii.org.br/sobre-a-embrapii/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2024. Brasília, DF: EPE, 2024.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Resíduos rurais e o consumo de combustíveis: quanto é possível substituir de forma competitiva?. Rio de Janeiro: EPE, 2025. (Fact Sheet SIenergia – Biometano).

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. Estudos avançados, v. 31, p. 23-48, 2017.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. The triple helix: University–industry–government innovation and entrepreneurship. Routledge, 2017.

EVANS, Joel R.; MATHUR, Anil. "The value of online surveys." Internet Research, v. 15, n. 2, p. 195–219, 2005.

EVANS, Peter. The state as problem and solution: Predation, embedded autonomy, and structural change. The politics of economic adjustment, v. 3, n. 3, p. 138-181, 1992.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Centros de Pesquisa Aplicada. São Paulo: Fapesp, 2026b. Disponível em: <https://fapesp.br/cpa/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Criação e estruturação da FAPESP. São Paulo: Fapesp, 2026a. Disponível em: <https://fapesp.br/28/criacao-e-estruturacao-da-fapesp>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Normas do Programa FAPESP PIPE. São Paulo: Fapesp, 2022. Disponível em: <https://fapesp.br/pipe/normas/>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Programa FAPESP PIPE – Pesquisa Inovativa em Pequenas Empresas. São Paulo: Fapesp, 2026a. Disponível em: <https://fapesp.br/58/programa-fapesp-pesquisa-inovativa-em-pequenas-empresas-pipe>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FAPESP. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Relatório de atividades 2024. São Paulo: Fapesp, 2025. Disponível em: <https://fapesp.br/relatorio2024>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FATORACHIAN, Hajar; KAZEMI, Hadi. A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. Production Planning & Control, v. 29, n. 8, p. 633-644, 2018.

FEIJÓ, C. A industrialização por substituição de importações: (1930-1979). In: ARAÚJO, E.; FEIJÓ, C. (Orgs.). Industrialização e Desindustrialização no Brasil. 1. ed. Curitiba: Appris, 2023. cap. 4, p. 101-131.

FEIJÓ, C. Desenvolvimento e Estagnação: O debate entre desenvolvimentistas e liberais neoclássico. *Brazilian Keynesian Review*, v. 9, n. 2, p. 436-439, 2023.

FERNANDES, Ana Margarida; FERRO, Andrea F.; GUERRERO, Jorge; GARCIA, Renato. "Public Support for Business R&D in Brazil: Evidence from the PINTEC Innovation Survey." Policy Research Working Paper, World Bank, n. 9107, 2020.

FERNANDES, P. D. et al. Descarbonização da indústria de base: sumário executivo. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), 2024.

FERREIRA, E. A. O impacto do programa de pesquisa inovativa (Pipe-Fapesp) nas empresas beneficiárias. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

FIGUEIREDO, P. N.; GRAGLIA, M. O déficit de profissionais STEM e a barreira para a Indústria 4.0 no Brasil. FGV EBAPE, 2021.

FIGUEIREDO, Paulo Estevão de et al. Sistema regional de inovação: uma análise da comunicação entre os atores. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 11, n. 2, p. 403-426, 2022.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Condições operacionais. Rio de Janeiro: Finep, 2026e. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Condicoes_Operacionais/CondicoesOperacionais.pdf. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Finep anuncia aporte de R\$ 1 bi em crédito descentralizado para empresas de todo o país. Rio de Janeiro: Finep, 2026f. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/7058-finep-anuncia-aporte-de-r-1-bi-em-credito-descentralizado-para-empresas-de-todo-o-pais>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Finep Startup: ciclos de investimento e opção de compra. Rio de Janeiro: Finep, 2024b. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/finep-startup>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. FNDCT – Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Rio de Janeiro: Finep, 2026b. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/fndct>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Histórico. Rio de Janeiro: Finep, 2026c. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/historico>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Inovacred 4.0: guia de operações e credenciamento de integradoras. Rio de Janeiro: Finep, 2018. Disponível em: <http://www.finep.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Manual de Operações Inovacred 4.0. Rio de Janeiro: Finep, 2018a.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. O que apoiamos. Rio de Janeiro: Finep, 2026c. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/o-que-apoiamos>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. O que é a Finep?: História e Institucional. Rio de Janeiro: Finep, 2024a. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/historia>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Relatório de impacto das subvenções econômicas: programa Finep Mais Inovação. Rio de Janeiro: Finep, 2024a.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Seleção Pública MCTI/FINEP/FNDCT – Subvenção Econômica à Inovação 04/2020: Tecnologias 4.0. Rio de Janeiro: Finep, 2020. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/643>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FINEP. Financiadora de Estudos e Projetos. Sobre a Finep. Rio de Janeiro: Finep, 2026a. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/sobre-a-finep>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FLICK, U. Introdução à pesquisa qualitativa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

FLICK, Uwe. Introdução à Pesquisa Qualitativa. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

FONSECA, Pedro Cezar Dutra. Desenvolvimentismo: a construção do conceito. Texto para Discussão, 2015.

FOWLER, Floyd J. Jr. Survey Research Methods. 5. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. International journal of production economics, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRANK, C. et al. Surviving the “valley of death”: A comparative analysis. The Journal of Technology Transfer, v. 21, n. 1-2, p. 61–69, 1996.

Fraunhofer-Gesellschaft. The Fraunhofer Model: applied research for the 21st century. Munich: Fraunhofer, 2024. Disponível em: <https://www.fraunhofer.de>. Acesso em: 14 jan. 2026.

FREEMAN, C.; SOETE, L. A economia da inovação industrial. Campinas, SP: Editora Unicamp, 2008.

FURTADO, C. Criatividade e dependência na civilização industrial. São Paulo: Círculo do Livro, 1978.

FURTADO, Celso. Formação econômica da América Latina. 2. ed. Rio de Janeiro: Lia Editor, 1970.

FURTADO, J. Industry 4.0: the fourth industrial revolution and the challenges for industry and Brazilian development. São Paulo: IEDI - Institute of Studies for Industrial Development, p. 1-50, 2017.

GANDRA, A. BNDES lança linha de crédito voltada para Indústria 4.0. Brasília: Agência Brasil (EBC), 2020. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2020-09/bndes-lanca-linha-de-credito-voltada-para-industria-40>. Acesso em: 14 jan. 2026.

GARTNER. Hype cycle for emerging technologies, 2015. Stamford: Gartner, 2015. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>. Acesso em: mar. 2026.

- GIBBONS, Michael et al. *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies*. London: Sage Publications, 1994. 192 p.
- GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GBADEGESHIN, Saheed A. et al. Overcoming the valley of death: a new model for high technology startups. *Sustainable Futures*, v. 4, p. 100077, 2022. DOI: 10.1016/j.sftr.2022.100077.
- GLASER, Barney G.; STRAUSS, Anselm L. *The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research*. Chicago: Aldine, 1967.
- GONÇALVES, D. B. Indústria 4.0 no Brasil: análise da contribuição do Centro de Excelência em Tecnologia 4.0. *Latin American Journal of Business Management*, Taubaté, v. 15, n. 2, 2024.
- GRIMMER, Justin; ROBERTS, Margaret E.; STEWART, Brandon M. *Text as Data: A New Framework for Machine Learning and the Social Sciences*. Princeton: Princeton University Press, 2022.
- GRIMMER, Justin; ROBERTS, Margaret E.; STEWART, Brandon M. *Text as data: A new framework for machine learning and the social sciences*. Princeton University Press, 2022.
- HALL, Bronwyn H.; LERNER, Josh. The financing of R&D and innovation. In: HALL, Bronwyn H.; ROSENBERG, Nathan (Ed.). *Handbook of the economics of innovation*. Amsterdam: Elsevier, 2010. v. 1, p. 609-639.
- HAMILTON, Walton H. A abordagem institucional para a teoria econômica. In: SALLES, Alexandre Ottoni Teatini; PESSALI, Huáscar Fialho; FERNANDEZ, Ramón (orgs.). *Economia Institucional: fundamentos teóricos e históricos*. São Paulo: Unesp, 2017. 401 p. cap. 2.
- HECKMAN, James J. "Sample selection bias as a specification error." *Econometrica*, v. 47, n. 1, p. 153–161, 1979.
- HERRERA, A. *Ciencia y política en América Latina*. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2015.
- HERRLEIN JR, Ronaldo. *Estado democrático e desenvolvimento no Brasil contemporâneo: um ensaio de economia política*. Porto Alegre: UFRGS/FCE/DECON, 2011.
- HUNTER, John D. "Matplotlib: A 2D Graphics Environment." *Computing in Science and Engineering*, v. 9, n. 3, p. 90–95, 2007.
- IBANEZ, P. Subvenção econômica da FINEP 2006-2009: política e território no sistema de inovação brasileiro. *Espaço e Economia*, v. 22, p. 1-30, 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Inovação (PINTEC): Notas Metodológicas*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa de Inovação Semestral: Indicadores de P&D*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

IEDI – INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. São Paulo: IEDI, 2018.

IN, S. Speed of intellectual property protection and early-stage startup performance. *Strategic Management Journal*, v. 41, 2020.

INHUDES, A. et al. Impactos da pandemia e o acesso a capital de giro por startups brasileiras. São Paulo: FGV, 2024.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Índice Brasil de Inovação e Desenvolvimento – IBID 2025. Rio de Janeiro: INPI, Coordenação-Geral de Economia e Inovação, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Em 2023, taxa de inovação da Indústria cai pelo segundo ano consecutivo. Rio de Janeiro: Agência de Notícias IBGE, 2025a. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/42929-em-2023-taxa-de-inovacao-da-industria-cai-pelo-segundo-ano-consecutivo>. Acesso em: 14 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Industrial Mensal – Produção Física (PIM-PF): resultados dezembro 2025. Rio de Janeiro: IBGE, 2025b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9294-pesquisa-industrial-mensal-producao-fisica-brasil.html>. Acesso em: 14 jan. 2026.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. 2018. Disponível em: https://iedi.org.br/media/site/artigos/20180710_politicas_para_o_desenvolvimento_da_industria_4_0_no_brasil.pdf. Acesso em: mar. 2023.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Impactos da pandemia de Covid-19 sobre os investimentos industriais. Carta de Conjuntura, Brasília: IPEA, 2021.

IQVIA. The Landscape of Emerging Biopharma and Deep Tech Startups. Parsippany, NJ: IQVIA Institute for Human Data Science, 2023.

IZIQUE, C. FAPESP investiu R\$ 540 milhões em 166 projetos com impacto em políticas públicas entre 2021 e 2024. São Paulo: Agência Fapesp, 2024. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/fapesp-investiu-r-540-milhoes-em-166-projetos-com-impacto-em-politicas-publicas-entre-2021-e-2024/53191>. Acesso em: 14 jan. 2026.

JOHNSON, Chalmers. MITI and the Japanese miracle: the growth of industrial policy, 1925-1975. Stanford university press, 1982.

JORDAN, Tim. Securitisation of the Internet. In: *Information Politics: Liberation and Exploitation in the Digital Society*, p. 98–119. Pluto Press, 2015.

JOSHI, Ankur et al. "Likert Scale: Explored and Explained." *British Journal of Applied Science & Technology*, v. 7, n. 4, p. 396–403, 2015.

KALTON, Graham; ANDERSON, Dallas W. "Sampling rare populations." *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, v. 149, n. 1, p. 65–82, 1986

- KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; SHARMA, Rohit. Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, v. 101, p. 107-119, 2018.
- KARTHAUS, Nina; HUENERMUND, Paul; LOKSHIN, Boris. Coopetition and Product Innovation: The Role of Intellectual Property Protection. In: *Academy of Management Proceedings*. Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management, 2020.
- KATTEL, R.; MAZZUCATO, M. Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the public sector. *Industrial and Corporate Change*, v. 27, n. 5, p. 1-15, 2018.
- KLETTE, Tor Jakob; MØEN, Jarle; GRILICHES, Zvi. "Do subsidies to commercial R&D reduce market failures? Microeconomic evaluation studies." *Research Policy*, v. 29, n. 4-5, p. 471-495, 2000.
- KLINGENBERG, Cristina Orsolin; BORGES, Marco Antônio Viana; ANTUNES JR, José Antônio Valle. Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. *Journal of manufacturing technology management*, v. 32, n. 3, p. 570-592, 2021.
- KOHL-SANTOS, P.; MOROSINI, M. C. O revisitar da metodologia do estado do conhecimento para além de uma revisão bibliográfica. *Revista Panorâmica Online*, [s.l.], v. 33, 2021.
- KVALE, Steinar; BRINKMANN, Svend. *InterViews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing*. 2. ed. Thousand Oaks: Sage, 2009.
- LABIAK JUNIOR, Silvestre. Método de análise dos fluxos de conhecimento em sistemas regionais de inovação. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão do Conhecimento) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- LABIAK JUNIOR, Silvestre et al. Mapeamento do sistema regional de inovação do Paraná. In: LABIAK JUNIOR, Silvestre (org.). *Sistema regional de inovação do estado do Paraná*. Curitiba: SEBRAE/PR; Funespar, 2016. v. 1, p. 115-145.
- LALL, S. The technological structure and performance of developing country manufactured exports, 1985-98. *Oxford Development Studies*, v. 28, n. 3, p. 337-369, 2000.
- LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.
- LEAL, E. A. S. et al. Avaliação de programas públicos de pesquisa desenvolvimento e inovação (P&D&I) em pequenos negócios: experiência do Brasil. In: *Anais do VI Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (ENEI)*. São Paulo: Blucher, 2022. p. 1059-1078.
- LEE, K. *The art of economic catch-up: barriers, detours and leapfrogging in innovation systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019.
- LEFEBVRE, V.; CERTHOUX, G.; RADU-LEFEBVRE, M. Sustaining trust to cross the Valley of Death: a retrospective study of business angels' investment and reinvestment decisions. *Technovation*, v. 109, p. 102159, 2022.

- LIRA, Gilson; REIS, Felipe Bastos; MELLO, Adriana Marotti. The impacts of Industry 4.0 enabling technologies on operational strategy. *Future Studies Research Journal: Trends and Strategies*, v. 15, n. 1, p. e0756-e0756, 2023.
- LIST, Friedrich. *Sistema nacional de economia política (1841)*. São Paulo: Abril Cultural, 1983. (Os Economistas).
- LÓPEZ-RUBIO, P.; ROIG-TIERNO, N.; MAS-TUR, A. A research journey from national systems of innovation to national systems of entrepreneurship: introducing the sextuple helix. *International Journal of Innovation and Technology Management*, v. 18, n. 8, 2021.
- LUNETTA, A; GUERRA, R. Metodologia da pesquisa científica e acadêmica. *Revista OWL (OWL Journal) – Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação*, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 149-159, 2023.
- MAIA, G.; DAUDT, G.; WILLCOX, L. D. Retomada da política industrial brasileira. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, v. 31, n. 60, p. 13-48, 2025.
- MAYRING, Philipp. *Qualitative Content Analysis: Theoretical Foundation, Basic Procedures and Software Solution*. Weinheim: Beltz, 2014.
- MAZZUCATO, M. *Missão economia: um guia inovador para mudar o capitalismo*. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2021.
- MAZZUCATO, M.; PEREZ, C. Innovation as growth policy: the challenge for Europe. In: FAGERBERG, J.; LAESTADIUS, S.; MARTIN, B. R. (Ed.). *The triple challenge for Europe: economic development, climate change, and governance*. Oxford: Oxford University Press, 2015. p. 229-264.
- MAZZUCATO, Mariana. *O Estado Empreendedor: desmascarando o mito do setor público vs. setor privado*. São Paulo: Portfolio-Penguin, 2014.
- MAZZUCATO, Mariana; SEMIENIUK, Gregor. "Public financing of innovation: new questions." *Oxford Review of Economic Policy*, v. 33, n. 1, p. 24–48, 2017.
- MEIRELLES. et al. O complexo econômico-industrial da saúde e o BNDES Profarma. *Cadernos de Saúde Pública*, 2020.
- MENDI, P.; COSTAMAGNA, R. Managing innovation under informal competition and imitation. *Research Policy*, v. 46, n. 4, p. 832-843, 2017.
- MENEZES, D. et al. Adoção de inovações no chão de fábrica: evidências a partir da PINTEC. *Estudos Econômicos*, 2017.
- MESQUITA, A. J. D. [Referência à tese sobre o programa SBIR]. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Letras, Campus de Araraquara, 2024.
- MIGUEZ, T. et al. Uma visão de política industrial para o Brasil: resultados a partir de uma proposta de matriz tecnológica. Rio de Janeiro: BNDES, 2018.
- MOKYR, Joel; STROTZ, Robert H. The second industrial revolution, 1870-1914. *Storia dell'economia Mondiale*, v. 21945, n. 1, p. 219-245, 1998.

MOLL, I. O mito da quarta revolução industrial. *Theoria: A Journal of Social and Political Theory*, v. 68, n. 167, p. 1-38, 2021.

EMBRAPA; SP VENTURES; HOMO LUDENS. Radar Agtech Brasil 2024: mapeamento de startups, ambientes de inovação e investidores do ecossistema agro brasileiro. Brasília: Embrapa, 2024.

MORA, J. G. et al. O engajamento social como motor do desenvolvimento regional: contribuição das universidades latino-americanas. *Higher Education Policy*, v. 31, n. 4, p. 513-532, 2018.

MORA, J. G. et al. O engajamento social como motor do desenvolvimento regional: contribuição das universidades latino-americanas. In: SERRA, M.; ROLIM, C.; BASTOS, A. P. *Universidades e Desenvolvimento Regional: as Bases para a Inovação Competitiva*. Rio de Janeiro: Ideia D, 2018. p. 123-153.

MORCEIRO, P. C. *A indústria brasileira no limiar do século XXI*. São Paulo: FEA/USP, 2019. (Texto para Discussão).

MORCEIRO, P. C.; GUILHOTO, J. J. M. Desindustrialização precoce no Brasil: causas e consequências. *Revista de Economia Política*, v. 43, n. 2, p. 418-441, 2023. DOI: 10.1590/0101-31572023-3340.

MOURA, F. Agro cresce 11,7%, impulsiona PIB e ganha participação na economia. Brasília: Agência Brasil (EBC), 2026. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2026-03/agro-cresce-117-impulsiona-pib-e-ganha-participacao-na-economia>. Acesso em: 14 jan. 2026.

MÜLLER, Julian Marius; KIEL, Daniel; VOIGT, Kai-Ingo. What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability, Basel*, v. 10, n. 1, p. 247, 2018. DOI: 10.3390/su10010247.

MUSCIO, A.; SIMONELLI, L.; VU, T. TRL scales and the Valley of Death in deep tech financing. *Technovation*, 2023.

NEALE, Walter. Instituições. *Economia Institucional: fundamentos teóricos e históricos*. São Paulo: Editora Unesp, p. 83-120, 2017.

NEMET, G. F. et al. Government subsidies and the valley of death in clean energy technologies. *Energy Policy*, v. 118, p. 411-420, 2018.

NORTH, Douglass C. *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

OCDE — Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2021: Times of Crisis and Opportunity*. Paris: OECD Publishing, 2021.

OCDE — Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico; EUROSTAT. *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*. 4. ed. Paris: OECD Publishing/Eurostat, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>. Acesso em: 14 jan. 2026.

OLIVEIRA, J.; GUIMARÃES, T. O modelo EMBRAPPI de fomento à inovação: flexibilidade e accountability. *Revista de Administração Pública*, 2018.

OLIVEIRA, J. F. de. A Política de Ciência, Tecnologia e Inovação, a Pós-Graduação e a Produção do Conhecimento no Brasil. *Revista Inter-Ação*, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 328-338, 2013. DOI: 10.5216/ia.v38i2.26107. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/interacao/article/view/26107>. Acesso em: 20 mar. 2024.

OLIVEIRA, L.G. Developmentalism and the Latin American State: the “statecentric logic”. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, v. 7, n. 9, p. 1242-1247, 2018.

ONYEJI-NWOGU, Ijeoma; BAZILIAN, Morgan; MOSS, Todd. The digital transformation and disruptive technologies: challenges and solutions for the electricity sector in African markets. Washington, DC: Center for Global Development, 2017.

OTTONICAR, Selma Leticia Capinzaiki; VALENTIM, Marta Ligia Pomim. A competencia em informacao no contexto do trabalho: uma revisao sistematica da literatura voltada para industria 4.0. *Encontros Bibli: Revista Eletronica de Biblioteconomia e Ciencia da Informacao*, Florianopolis, v. 24, n. 56, p. 1-21, 2019. DOI: 10.5007/1518-2924.2019.e65096.

PALMEIRA FILHO, P. L. et al. O apoio do BNDES à inovação farmacêutica no Brasil. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 35, p. 115-156, 2012.

PATTON, Michael Quinn. *Qualitative Research and Evaluation Methods*. 3. ed. Thousand Oaks: Sage, 2002.

PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. Indústria 4.0 no setor automotivo brasileiro: adoção e barreiras. *Gestão & Produção*, v. 25, 2018.

PERES NÚÑEZ, Wilson; PRIMI, Annalisa. Theory and practice of industrial policy: evidence from the Latin American experience. Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2009.

PEREZ, Carlota. *Technological Revolutions and Financial Capital: the dynamics of bubbles and golden ages*. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

PÉREZ, C. et al. Deep tech startups and the threat of predatory copying in emerging markets. *Journal of Business Venturing*, 2021.

PERUCCHI, Valmira; MUELLER, Suzana Pinheiro Machado. Produção de conhecimento científico e tecnológico nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia: uma investigação sobre a sua natureza e aplicação. *Perspectivas em Ciência da Informação*, v. 21, n. 1, p. 134-151, 2016.

PETROBRAS. *Relatório de Sustentabilidade e Inovação Tecnológica: Gêmeos Digitais*. Rio de Janeiro: Petrobras, 2019.

PIMENTEL, V. et al. Inovação e ensaios clínicos por startups e o ecossistema brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, 2024.

PLATTEK, D.; VILLARIM, C.; CAVALCANTI, M. Investimentos e prontidão tecnológica do setor automotivo brasileiro. *Revista de Administração e Inovação*, 2025.

PODSAKOFF, Philip M.; MacKENZIE, Scott B.; LEE, Jeong-Yeon; PODSAKOFF, Nathan P. "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies." *Journal of Applied Psychology*, v. 88, n. 5, p. 879–903, 2003.

ProFuturo — Programa de Produtos Inovadores. Roadmap Tecnológico: Manufatura Avançada. São Paulo: FIESP/CNI/SENAI, 2019.

RAUEN, A. T. (Org.). Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil. Brasília: Ipea, 2017.

RAUEN, A. T. Compras públicas de inovações segundo o texto final do PL no 4.253/2020. Brasília: Ipea, 2021. (Nota Técnica, n. 80).

RAUEN, André Tortato; BARBOSA, Caio Márcio Moraes; BEDÊ, Marco Aurélio. "Políticas de inovação no Brasil: panorama dos instrumentos de fomento." In: IPEA. *Brasil em Desenvolvimento 2021*. Brasília: IPEA, 2021.

REYNOLDS, E. B.; DE NEGRI, F. Public procurement and the bureaucracy of innovation. Brasília: IPEA, 2017.

ROCHA, G.; RAUEN, A. T. Mais desoneração, mais inovação? Uma avaliação da recente estratégia brasileira de intensificação dos incentivos fiscais a pesquisa e desenvolvimento. Brasília: Ipea, 2018. (Texto para Discussão, No. 2393).

RODRIK, Dani; SUBRAMANIAN, Arvind; TREBBI, Francesco. Institutions rule: the primacy of institutions over geography and integration in economic development. *Journal of economic growth*, v. 9, n. 2, p. 131-165, 2004.

ROGERS, Everett M. *Diffusion of Innovations*. New York: Free Press of Glencoe, 1962.

ROSSI, Peter H.; LIPSEY, Mark W.; FREEMAN, Howard E. *Evaluation: A Systematic Approach*. 7. ed. Thousand Oaks: Sage, 2004.

SÁBATO, J. A.; BOTANA, N. La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina. In: SÁBATO, J. A. (Comp.). *El pensamiento latino-americano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires: Ediciones Biblioteca Nacional, 2011. cap. 10. p. 215-230.

SÁBATO, Jorge; BOTANA, Natalio. "La Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Futuro de América Latina." *Revista de la Integración*, n. 3, 1968. [Reimpresso em: *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 2011.]

SALERNO, M. S. Políticas De Inovação No Brasil: Desafios De Formulação, Financiamento E Implantação. In: COUTINHO, D. R.; FOSS, M. C.; MOUALLEM, P. S. B. (Orgs.). *Inovação No Brasil: Avanços E Desafios Jurídicos E Institucionais*. São Paulo: Blucher, 2017.

SALERNO, Mario Sergio; KUBOTA, Luis Claudio. "Estado e inovação." In: DE NEGRI, João Alberto; KUBOTA, Luis Claudio (Org.). Políticas de Incentivo à Inovação Tecnológica no Brasil. Brasília: IPEA, 2008.

SALGANIK, Matthew J. Bit by Bit: Social Research in the Digital Age. Princeton: Princeton University Press, 2018. Disponível em: <https://www.bitbybitbook.com>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SALIBA, R. A modernização do setor de energia no Brasil: o papel dos processos inteligentes. Revista Brasileira de Energia, 2022.

SANTANA, J. R. et al. Financiamento público à inovação no Brasil: contribuição para uma distribuição regional mais equilibrada. Planejamento e Políticas Públicas, n. 52, p. 355-387, 2019.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. O Brasil: território e sociedade no início do século XXI. Rio de Janeiro: Record, 2001.

SANTOS, Valdivino Passos. Desenvolvimento Tecnológico no Brasil: Formação das Condições Estruturais e Funcionais de um Sistema Nacional de Inovação. Revista Cereus, v. 9, n. 3, p. 98-121, 2017.

SÃO PAULO (Estado). Constituição do Estado de São Paulo, de 5 de outubro de 1989. São Paulo: Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 1989. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/constituicao/1989/compilacao-constituicao-0-05.10.1989.html>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 5.918, de 18 de outubro de 1960. Autoriza o Poder Executivo a instituir a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. São Paulo: Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo, 1960. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1960/lei-5918-18.10.1960.html>. Acesso em: 14 jan. 2026.

SARTORI, S. Inovação incremental em grandes corporações: manutenção de competitividade. Revista de Administração da USP, 2011.

SCHNEIDER, B. R.; REYNOLDS, E. B. O ambiente de negócios, o protecionismo e as âncoras da inovação no Brasil. Journal of Latin American Studies, 2019.

SCHWAB, K. (2015). The Fourth Industrial Revolution: What It Means and How to Respond. Disponível em: <https://www.foreignaffairs.com/articles/2015-12-12/fourth-industrial-revolution>. Acesso em: mar. 2025.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. Geneva: World Economic Forum, 2016.

SERAFIM GOMES, C. A concentração espacial da inovação e o sistema nacional de ciência e tecnologia. Revista de Economia Regional, 2019.

SICSÚ, J.; PAULA, L. F.; MICHEL, R. Introdução. In: ____ (Comp.) Novo-Desenvolvimentismo: um projeto nacional de crescimento com equidade social. Barueri: Manole; Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2005. p. 00-00.

SILVA, Antonio Carlos Ribeiro da; FOSSÁ, Maria Ivete Trevisan. "Análise de Conteúdo: Exemplo de Aplicação da Técnica para Análise de Dados Qualitativos." *Qualitas Revista Eletrônica*, v. 16, n. 1, 2015.PPI, 2026 - <https://ppi.gov.br/quem-somos/>

SILVA, Christian Luiz; IEIS, Fabiana; FARAH JR, Moises Francisco. As interfaces da política de ciência, tecnologia e inovação com a política industrial: dilemas na trajetória recente do Brasil. *Desenvolvimento em Questão*, v. 13, n. 30, p. 60-100, 2015.

SIQUEIRA RODRIGUEZ, R.; GONÇALVES, E. Hierarquia e concentração na distribuição regional brasileira de invenções por tipos de tecnologias. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 16, n. 2, p. 225-266, 2017.

SMITH, Adam. A riqueza das nações. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2023.

SOARES, B. E. et al. The “Conhecimento Brasil” Program neglects the structural problems of Brazilian science and fails to offer a solution to the brain drain. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 97, e20240496, 2025.

STODDEN, Victoria; SEILER, Jennifer; MA, Zhaokun. "An empirical analysis of journal policy effectiveness for computational reproducibility." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 115, n. 11, p. 2584–2589, 2018.

STOKES, Donald E. O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica. Campinas: Unicamp, 2005.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS (SUFRAMA). Suframa comemora 59 anos com recordes históricos e avanços na integração regional. Manaus: Suframa, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/suframa/pt-br/assuntos/noticias/suframa-comemora-59-anos-com-recordes-historicos-e-avancos-na-integracao-regional>. Acesso em: 14 jan. 2026.

TAKALO, T.; TANAYAMA, T. Adverse selection and financing of innovation: Is there a need for R&D subsidies? *Journal of Technology Transfer*, v. 35, n. 1, p. 16-41, 2010.

TORKOMIAN, A. L. V.; GARNICA, L. A. Gestão de tecnologia em universidades: uma análise do patenteamento e dos fatores de dificuldade e de apoio à transferência de tecnologia no Estado de São Paulo. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 16, n. 4, p. 624-638, 2009.

TUNES, R. A geografia da inovação no Brasil: o papel do eixo Sul-Sudeste. *Revista Brasileira de Geografia*, 2015.

UNESCO. Science, Technology, and Innovation in Brazil. Paris: UNESCO, 2025. Disponível em: <https://www.unesco.org/en/node/104636>. Acesso em: 14 jan. 2026.

VENTURINI, C.; VERBANO, C. The technology maturation process in public-funded projects. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 116, 2017.

VERMULM, R. Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil. São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI), 2018.

VERMULM, Roberto. A Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE). São Paulo: Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI), jul. 2004.

VIRTANEN, Pauli et al. "SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python." *Nature Methods*, v. 17, n. 3, p. 261–272, 2020.

WADE, Robert. *Governing the market: Economic theory and the role of government in East Asian industrialization*. Princeton: Princeton University Press, 2018.

WASKOM, Michael. "seaborn: statistical data visualization." *Journal of Open Source Software*, v. 6, n. 60, p. 3021, 2021.

WILSON, Greg et al. "Good enough practices in scientific computing." *PLOS Computational Biology*, v. 13, n. 6, e1005510, 2017.

WIPO — World Intellectual Property Organization. *Global Innovation Index 2024: Unlocking the Promise of Social Entrepreneurship*. Geneva: WIPO, 2024. Disponível em: <https://www.globalinnovationindex.org>. Acesso em: 14 jan. 2026.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). *The future of jobs report 2023*. Geneva: World Economic Forum, 2023. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>. Acesso em: mar. 2026.

XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZANGIACOMI, Andrea et al. Moving towards digitalization: a multiple case study in manufacturing. *Production planning & control*, v. 31, n. 2-3, p. 143-157, 2020.

ZATERKA, Luciana; MOCELLIN, Ronei Clécio. *Ensaio de história e filosofia da química*. São Paulo: Editora Ideas & Letras, 2022.

ZUNIGA, Pluvia et al. "Revisiting the Role of Science, Technology and Innovation Policies to Foster Industrial Development in Latin American Countries." *CEPAL — Serie Desarrollo Productivo*, n. 203, Santiago: CEPAL/IDRC, 2016.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO-BASE PARA ENTREVISTAS SEMIESTRUTURADAS

Olá, você está sendo convidado(a) a responder a um questionário on-line composto por três partes: (a) uma breve triagem para identificar se a organização acessou ou não apoio público para iniciativas de Indústria 4.0; (b) caracterização do(a) respondente e da organização, sem coleta de dados pessoais sensíveis; e (c) informações sobre a experiência com o apoio, quando existente, a implementação tecnológica e os resultados observados.

A participação é voluntária. O respondente pode pular qualquer pergunta, selecionando a opção “Prefiro não responder”, e pode interromper sua participação a qualquer momento, sem necessidade de justificativa.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Título da pesquisa: O desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil a partir do fomento à pesquisa aplicada por meio de linhas de financiamento estatal (tese de doutorado – PPGDSCI/UnB).

Objetivo da pesquisa: Investigar a relação entre linhas de financiamento público voltadas à Indústria 4.0 e resultados de inovação no Brasil, considerando o programa da FAPESP PIPE.

Riscos potenciais e minimização: A pesquisa apresenta risco mínimo. Eventual desconforto pode ocorrer ao tratar de processos organizacionais internos. Para reduzir esse risco, o questionário é anônimo e não coleta valores de financiamento nem informações pessoais sensíveis.

Benefícios esperados: A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre políticas públicas de fomento à inovação e sobre a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil.

Confidencialidade e proteção de dados: Os dados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos e analisados de forma agregada e anônima. Não são coletados nomes, documentos pessoais, valores de operações ou informações confidenciais das empresas. O armazenamento e o tratamento das informações seguem as diretrizes da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (Lei nº 13.709/2018).

Voluntariedade: A participação é voluntária e pode ser interrompida a qualquer momento.

Contato do pesquisador:

Eduardo Augusto Rodrigues Barros — Doutorando (UnB).

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira.

Contato: eaugustobarros@gmail.com

1. Você concorda em participar da pesquisa?

☐ Sim, estou ciente e concordo em participar.

☐ Prefiro não participar.

SEÇÃO 1 — TRIAGEM INICIAL

3. Sua organização já acessou apoio público (financiamento ou subvenção) para iniciativas de Indústria 4.0?

☐ Sim.

☐ Não.

☐ Prefiro não responder.

SEÇÃO 2 — DADOS DO RESPONDENTE E DA ORGANIZAÇÃO

4. Qual era o seu papel na organização à época do projeto?

☐ Diretor(a) ou posição executiva (C-level).

☐ Gerente ou coordenador(a).

☐ Líder técnico ou engenharia.

☐ Área de compras ou finanças.

☐ Outro.

☐ Prefiro não responder.

5. Faixa etária.

☐ 18–29 anos.

☐ 30–39 anos.

☐ 40–49 anos.

- ☐ 50–59 anos.
- ☐ 60 anos ou mais.
- ☐ Prefiro não responder.

6. Formação acadêmica.

- ☐ Técnico ou tecnólogo.
- ☐ Graduação.
- ☐ Especialização ou MBA.
- ☐ Mestrado.
- ☐ Doutorado ou PhD.
- ☐ Prefiro não responder.

7. Porte da empresa à época do apoio.

- ☐ Microempresa.
- ☐ Pequena empresa.
- ☐ Média empresa.
- ☐ Grande empresa.
- ☐ Prefiro não responder.

8. Região da sede principal do projeto.

- ☐ Sudeste.
- ☐ Sul.
- ☐ Centro-Oeste.
- ☐ Norte.
- ☐ Nordeste.
- ☐ Prefiro não responder.

SEÇÃO 3 — INFORMAÇÕES SOBRE O FINANCIAMENTO OU SUBVENÇÃO

9. Quais programas ou linhas de apoio foram utilizados? (marque todas que se aplicam)

- ☐ Finep Inovacred 4.0.
- ☐ BNDES Máquinas 4.0.
- ☐ Agro 4.0 (ABDI/MDIC ou correlatos).

- ☐ Programas da FAPESP (PITE, PIPE ou programas temáticos).
- ☐ Outro.
- ☐ Prefiro não responder.

10. Tipo de apoio recebido.

- ☐ Financiamento reembolsável.
- ☐ Subvenção ou apoio não reembolsável.
- ☐ Ambos.
- ☐ Outro.
- ☐ Prefiro não responder.

11. Ano do primeiro apoio recebido para iniciativas de Indústria 4.0.

- ☐ 2018.
- ☐ 2019.
- ☐ 2020.
- ☐ 2021.
- ☐ 2022.
- ☐ 2023.
- ☐ 2024.
- ☐ 2025.
- ☐ Prefiro não responder.

SEÇÃO 4 — TECNOLOGIAS IMPLEMENTADAS

12. Categoria(s) tecnológica(s) contemplada(s) no projeto (marque até três).

- ☐ Agro 4.0 ou agricultura de precisão.
- ☐ Máquinas 4.0 ou modernização do parque industrial.
- ☐ Internet das Coisas (IoT) ou conectividade.
- ☐ Inteligência Artificial ou Machine Learning.
- ☐ Robótica, automação ou controle.
- ☐ Manufatura aditiva (impressão 3D).
- ☐ Visão computacional ou sensoriamento.
- ☐ Big Data ou análise de dados.

- ☐ Computação em nuvem ou arquitetura de TI.
- ☐ Cibersegurança.
- ☐ Prefiro não responder.

13. Principais barreiras encontradas na implementação do projeto (marque todas que se aplicam).

- ☐ Burocracia e exigências de compliance.
- ☐ Prazos de liberação ou desembolso.
- ☐ Capacitação de pessoal.
- ☐ Integração com sistemas legados.
- ☐ Infraestrutura tecnológica (rede, energia ou ambiente).
- ☐ Fornecedores ou disponibilidade de tecnologia.
- ☐ Outro.
- ☐ Prefiro não responder.

SEÇÃO 5 — RESULTADOS OBSERVADOS

- 14. Em que medida o apoio público acelerou a realização do projeto?
- 15. Em que medida o apoio público ampliou o escopo ou a ambição tecnológica do projeto?
- 16. Em que medida a implementação do projeto gerou ganhos de produtividade, qualidade ou rastreabilidade na operação?
- 17. Em que medida o projeto resultou no desenvolvimento de novos produtos ou serviços?
- 18. Em que medida o projeto levou ao depósito de patentes ou registros de software?
- 19. Em que medida o projeto contribuiu para o desenvolvimento de competências internas da organização (como análise de dados, IoT, inteligência artificial ou automação)?
- 20. Em que medida o projeto promoveu melhorias no monitoramento de processos, na rastreabilidade ou na conformidade regulatória?
- 21. Em que medida o projeto gerou resultados relacionados à modernização industrial (como redução de tempo de setup, aumento da disponibilidade operacional ou integração entre sistemas)?

SEÇÃO 6 — AVALIAÇÃO FINAL

22. Sua organização solicitara novamente apoio público para projetos de Indústria 4.0?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.
- ☐ Talvez.
- ☐ Prefiro não responder.

23. Quais melhorias você recomendaria nas linhas de apoio público para inovação?
(marque até três).

- ☐ Redução da burocracia e da documentação exigida.
- ☐ Maior rapidez e previsibilidade nos desembolsos.
- ☐ Condições financeiras mais favoráveis (prazos e juros).
- ☐ Apoio à capacitação de equipes.
- ☐ Incentivo à cooperação entre empresas e instituições de pesquisa.
- ☐ Acompanhamento técnico ou mentoria ao longo do projeto.
- ☐ Maior transparência sobre projetos e resultados financiados.
- ☐ Outro.
- ☐ Prefiro não responder.