



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão
de Políticas Públicas
Programa de Pós-Graduação em Economia

Da teoria à prática da inovação: o setor espacial em transformação

Autor: Erik Busnello Imbuzeiro
Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira

Brasília, DF



Erik Busnello Imbuzeiro

Da teoria à prática da inovação: o setor espacial em transformação

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Economia.
Área de concentração: Economia da Defesa e Espaço.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira

Brasília, DF

28 de outubro de 2025

Erik Busnello Imbuzeiro

Da teoria à prática da inovação: o setor espacial em transformação/ Erik Busnello Imbuzeiro. – Brasília, DF, 28 de outubro de 2025-

114 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira

Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília - UnB

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas , 28 de outubro de 2025.

1. New Space. 2. Agência Espacial. I. Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Da teoria à prática da inovação: o setor espacial em transformação

CDU

Erik Busnello Imbuzeiro

Da teoria à prática da inovação: o setor espacial em transformação

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Economia.
Área de concentração: Economia da Defesa e Espaço.

Trabalho aprovado. Brasília, DF,

Prof. Dr. Luiz Guilherme de Oliveira
Orientador

**Prof. Dr. Roberto de Góes Ellery
Júnior**
Convidado interno

Dr. Jean Carlos Borges Brito
Convidado externo

Brasília, DF
28 de outubro de 2025

Dedico este trabalho à Agência Espacial Brasileira (AEB), instituição que representa o esforço nacional em consolidar um Programa Espacial capaz de impulsionar ciência, tecnologia e inovação no Brasil. Que esta pesquisa, ao investigar o uso das compras públicas para inovação, em especial a encomenda tecnológica, como instrumento estratégico, contribua para que a AEB se afirme como pilar fundamental do desenvolvimento socioeconômico do País, à semelhança do papel desempenhado por agências espaciais de nações líderes no cenário internacional.

*"It is a very sobering feeling to be up in space and realize
that one's safety factor was determined by the
lowest bidder on a government contract."
(Alan Shepard)*

*"You will not grow if you are not willing to change yourself."
(Roger Federer)*

Resumo

Esta dissertação investiga a transformação em curso no setor espacial a partir da ascensão do *New Space*, examinando seus fundamentos conceituais, institucionais e tecnológicos. Realiza-se uma revisão de literatura que categoriza os elementos constitutivos do *New Space*, articulando-os às contribuições de Schumpeter sobre destruição criativa, de Rosenberg sobre revoluções tecnológicas e de Freeman acerca dos sistemas nacionais de inovação, em diálogo com o papel do Estado na indução de trajetórias tecnológicas. Em sequência, são analisados os mecanismos de financiamento de atividades de inovação científica e tecnológica, destacando a relevância das políticas públicas, das instituições de fomento e de modelos contratuais orientados para a inovação. Desenvolve-se o estudo de caso do desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial (SNI), por meio do instrumento da Encomenda Tecnológica (ETEC), evidenciando os desafios técnicos e institucionais de um sistema crítico para a autonomia tecnológica brasileira, além de discutir a ETEC como instrumento catalítico da inovação. Por fim, sintetiza-se como a conjugação entre inovação, arranjos institucionais e políticas públicas pode ampliar a inserção do Brasil no setor espacial, ao mesmo tempo em que se delineia caminhos para futuras pesquisas sobre governança, cooperação internacional e inovação disruptiva. Assim, a dissertação contribui para o entendimento integrado das dimensões econômicas, políticas e tecnológicas que estruturam a transição do *Old Space* para o *New Space* por meio da inovação.

Palavras-chaves: *New Space*, Agência Espacial, Inovação, Encomenda Tecnológica

Abstract

The present work investigates the ongoing transformation of the space sector driven by the rise of *New Space*, examining its conceptual, institutional, and technological foundations. A literature review is conducted to categorize the constitutive elements of *New Space*, articulating them with Schumpeter's contributions on creative destruction, Rosenberg's perspective on technological revolutions, and Freeman's framework on national innovation systems, in dialogue with the role of the State in shaping technological trajectories. Subsequently, the mechanisms for financing scientific and technological innovation activities are analyzed, highlighting the relevance of public policies, funding institutions, and contractual models oriented toward innovation. A case study of the development of the Inertial Navigation System (INS), carried out through the instrument of the "Technological Procurement" (ETEC), is presented, evidencing the technical and institutional challenges of a system critical to Brazil's technological autonomy, as well as discussing the ETEC as a catalytic instrument for innovation. Finally, the work synthesizes how the interplay between innovation, institutional arrangements, and public policies can enhance Brazil's participation in the space sector, while also outlining pathways for future research on governance, international cooperation, and disruptive innovation. Thus, the work contributes to an integrated understanding of the economic, political, and technological dimensions that structure the transition from *Old Space* to *New Space* through innovation.

Key-words: New Space, Space Agency, Innovation, Technological procurement.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Relação entre a pergunta de pesquisa, objetivos específicos, metodologia e resultados esperados	30
Figura 2 – Satélites lançados de 2015 a 2024	46
Figura 3 – Massa média dos satélites em órbita de 2011 a 2023	46
Figura 4 – Histórico das Encomendas Tecnológicas no Brasil.	72
Figura 5 – Adequação das modalidades contratuais ao risco tecnológico	77
Figura 6 – Linha do tempo sobre o processo de contratação da primeira fase da ETEC da AEB	85
Figura 7 – Representação simplificada do SINDAE.	88

Lista de tabelas

Tabela 1 – Fases de desenvolvimento e qualificação da tecnologia de navegação inercial	82
Tabela 2 – Síntese da contratação da ETEC para desenvolvimento do SNI	87

Lista de abreviaturas e siglas

ACT	Ação de Ciência e Tecnologia (ou conforme contexto)
AEB	Agência Espacial Brasileira
C&T	Ciência e Tecnologia
CAPEX	Gastos de Capital (<i>Capital Expenditure</i>)
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CDPEB	Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro
CEA	Centro Espacial de Alcântara
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COTS	<i>Commercial Off-The-Shelf</i>
CPAF	Cost-Plus-Award-Fee
CPFF	Cost-Plus-Fixed-Fee
CPIF	Cost-Plus-Incentive-Fee
CPSI	Contrato Público para Solução Inovadora
DARPA	<i>Defense Advanced Research Projects Agency</i>
DoD	Departamento de Defesa dos Estados Unidos (<i>Department of Defense</i>)
ETEC	Encomenda Tecnológica
ETP	Estudos Técnicos Preliminares
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Administration
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
FPA	Flat Panel Antennas (Antenas de Painel Plano)
GEO	Órbita Geoestacionária

GNSS *Global Navigation Satellite System*

GPS Global Positioning System

GSaaS *Ground Segment as a Service*

HDPE *High-density polyethylene*

HRE *Hybrid Rocket Engine*

HTPB *Hydroxyl-terminated polybutadiene*

HTS High Throughput Satellites

IA Inteligência Artificial

IAE Instituto de Aeronáutica e Espaço

ICT Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação

IDE Investimento Direto Estrangeiro

IMU Inertial Measurement Unit (Unidade de Medição Inercial)

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

LEO *Low Earth Orbit* (Órbita baixa)

MEMS *Micro Electro Mechanical Systems*

MEO Órbita Média

MLCTI Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação

MMT Teoria Monetária Moderna (*Modern Monetary Theory*)

MUX Câmera Multiespectral Regular

NASA National Aeronautics and Space Administration

NIT Núcleos de Inovação Tecnológica

OBC On-Board Computer (Computador de Bordo)

OEE Objetivo Estratégico de Espaço

OPEX Despesas Operacionais (*Operational Expenditure*)

OSAM *On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing*

PCP Pre-Commercial Procurement

PD&I Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação

PDR Preliminary Design Review (Revisão Preliminar de Projeto)

PDTI Plano Diretor de Tecnologia da Informação

PEB Programa Espacial Brasileiro

PMMA *Poly-Methyl Methacrylate*

PNAE Programa Nacional de Atividades Espaciais

PPI Public Procurement for Innovation

SINDAE Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais

SISNAV Sistema de Navegação Inercial (desenvolvido pelo IAE nos anos 2000)

SN Software de Navegação

SNI Sistema Nacional de Inovação

SNI Sistema de Navegação Inercial

SRR System Requirements Review (Revisão de Requisitos do Sistema)

STM *Space Traffic Management*

TCU Tribunal de Contas da União

TR Termo de Referência

TRL Technology Readiness Level

UIT União Internacional de Telecomunicações

VICTS Variable Inclination Continuous Transverse Stub

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivos da pesquisa	26
1.2	Metodologia da Pesquisa	26
2	PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E A TRANSFORMAÇÃO DO SETOR ESPACIAL	31
2.1	Os paradigmas tecnológicos	32
2.2	A Destruição Criativa e os Ciclos Econômicos de Schumpeter	34
2.3	Rosenberg e a Revolução Tecnológica	39
2.4	New Space como mudança de paradigma	43
2.4.1	O foguete reutilizável	44
2.4.2	CubeSats	45
2.4.3	Sistema de propulsão híbrida	45
2.4.4	Lançamento responsivo	47
2.4.5	O segmento de solo e tratamento de dados	48
2.4.6	Tendências emergentes e empreendimentos futuros	50
2.4.7	Inovação e espaço para países emergentes	52
3	FOMENTO À INOVAÇÃO E O PAPEL DO ESTADO	57
3.1	O Sistema Nacional de Inovação e o Papel do Estado	58
3.2	Inovação no Brasil	65
3.3	Compras Públicas e a Encomenda Tecnológica	69
4	ESTUDO DE CASO: SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL (SNI)	79
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICES	107
	APÊNDICE A – A ENTREVISTA	109
A.1	Roteiro de Entrevista – Representante da Empresa (Consórcio DJED)	109
A.2	Respostas da entrevista	110

1 Introdução

O panorama da exploração espacial atravessa uma profunda transformação, caracterizada por uma transição das atividades espaciais tradicionais, lideradas por governos, para um modelo mais dinâmico e comercializado, frequentemente chamado de *New Space*. Esse novo paradigma, impulsionado por avanços tecnológicos e pela crescente participação do setor privado, não apenas ampliou as possibilidades de exploração espacial, mas também remodelou as estruturas de governança subjacentes. A crescente diversidade de atores no espaço, que vão desde empresas privadas até nações emergentes no setor espacial, desafia as estruturas regulatórias existentes, tradicionalmente dominadas por algumas poucas potências espaciais.

O Manual de Oslo ([OECD, 2018](#)), que fornece diretrizes para a coleta e interpretação de dados de inovação, destaca a importância da inovação tecnológica como um motor essencial para o desenvolvimento industrial e econômico. No contexto espacial, essas inovações não apenas ampliam nossas capacidades, mas também alteram a própria natureza das atividades espaciais, levando ao que pode ser descrito como uma mudança de paradigma tecnológico. Essa transformação é caracterizada pelo desenvolvimento e pela implementação rápida de novas tecnologias, como foguetes reutilizáveis, pequenos satélites e sistemas de propulsão avançados, que tornam o espaço mais acessível e econômico como nunca antes.

Diante desse cenário, esta dissertação tem como propósito responder à pergunta de pesquisa: como os instrumentos de política pública, em especial as compras públicas para inovação e a Encomenda Tecnológica (ETEC), podem ser empregados como mecanismos estratégicos para o fortalecimento do Programa Espacial Brasileiro, considerando a transformação do setor espacial e a ascensão do paradigma *New Space*? Ao integrar conceitos clássicos de inovação com a análise institucional e com um estudo de caso concreto, busca-se compreender tanto as potencialidades quanto os limites da aplicação desses instrumentos no contexto nacional.

A definição de inovação adotada pelo Manual de Oslo ([OECD, 2018](#)) compreende-a como um "novo ou aprimorado produto ou processo (ou uma combinação de ambos) que difere significativamente daqueles previamente desenvolvidos pela unidade e que tenha sido disponibilizado a potenciais usuários (no caso de produto) ou efetivamente implementado (no caso de processo)". No cenário dinâmico e desafiador do século XXI, a inovação emerge como a força propulsora que transcende fronteiras e redefine paradigmas. Este trabalho busca explorar o intrincado tecido da inovação, delineando seu papel crucial no desenvolvimento econômico e na exploração do espaço. Ao examinar os conceitos fundamentais, desde a destruição criativa proposta por Schumpeter até as fronteiras do

New Space, o objetivo é interpretar as atividades espaciais sob uma perspectiva clássica e contemporânea de inovação.

Vale destacar o célebre discurso de John F. Kennedy (1962) na Universidade Rice, no qual defendeu a ida à Lua não apenas como uma meta científica ou geopolítica, mas como uma decisão estratégica para gerar benefícios duradouros em ciência, tecnologia e desenvolvimento econômico. Ao afirmar que “escolhemos ir à Lua” porque esse desafio mobilizaria o melhor das capacidades nacionais, Kennedy sintetizou a ideia de que a exploração espacial pode funcionar como catalisador de inovação em múltiplos setores, perspectiva que continua a inspirar políticas públicas contemporâneas.

Nesse sentido, Rottner, Sage e Ventresca (2021) enfatizam que a indústria espacial está passando por uma transformação significativa, impulsionada por uma variedade maior de atores e fontes de financiamento. As inovações não são mais exclusivamente produtos de projetos financiados pelo Estado, mas cada vez mais impulsionadas por interesses comerciais, capital de risco e novas tecnologias, como inteligência artificial, pequenos satélites e *blockchain*. Essa mudança democratizou o acesso ao espaço e criou novas oportunidades para atores estabelecidos e emergentes. À medida que mais empresas e países entram na arena espacial, a inovação torna-se mais diversificada e responsiva a aplicações comerciais, necessidades terrestres e desafios globais. Os autores argumentam que esses desenvolvimentos marcam um ponto de inflexão crítico em como o espaço é utilizado e gerido, com o conceito de *Smart Space* capturando esse espectro mais amplo de inovações e as estruturas de governança em evolução que o acompanham.

O conceito de *Smart Space* (Rottner; Sage; Ventresca, 2021) foi introduzido para descrever melhor as dinâmicas em evolução do setor espacial. Enquanto os termos *Old Space* e *New Space* têm sido usados para diferenciar entre atividades espaciais dominadas por governos (*Old Space*) e abordagens mais comerciais e orientadas pela inovação (*New Space*), os autores argumentam que esses termos não são mais suficientes para capturar o escopo completo das transformações em curso. *Smart Space* reconhece a coexistência de atores estatais e comerciais, o surgimento de *startups* espaciais apoiadas por capital de risco e o papel crescente de empresas de tecnologia, como Google e Microsoft, em atividades relacionadas ao espaço. Assim, *Smart Space* reflete uma compreensão mais holística e orientada para o futuro do ecossistema espacial, incorporando tanto atores tradicionais quanto novos entrantes comerciais, além de tecnologias emergentes.

A necessidade desse terceiro termo surge das limitações da dicotomia *Old Space/New Space*, que simplifica excessivamente a complexidade do setor espacial moderno. Segundo os autores supracitados, essa estrutura ignora a relevância contínua das agências e organizações espaciais legadas, ao mesmo tempo em que falha em considerar totalmente o potencial transformador das inovações orientadas por dados e computação. Essa visão mais sutil destaca como esses diferentes atores estão remodelando o setor espacial de

maneiras que a classificação binária anterior não consegue explicar plenamente.

Dessa forma, para discutir a importância da inovação e a evolução dos paradigmas que moldam o setor espacial, a dissertação organiza-se em quatro capítulos principais. No capítulo 2, examina-se o universo teórico da inovação e a transformação do setor espacial. São discutidos os paradigmas tecnológicos e as trajetórias de Dosi, a destruição criativa e os ciclos econômicos de Schumpeter, a revolução tecnológica de Rosenberg e, por fim, o *New Space* como uma mudança de paradigma, destacando seus principais elementos como foguetes reutilizáveis, CubeSats, propulsão híbrida e lançamentos responsivos. Essa fundamentação estabelece a base conceitual para compreender as transformações em curso na economia espacial.

O capítulo 3 aprofunda-se no papel do Estado como indutor do desenvolvimento tecnológico e no fomento à inovação. A partir da literatura sobre Sistemas Nacionais de Inovação, são analisadas a dinâmica brasileira e suas particularidades, bem como os instrumentos de política pública disponíveis. Entre eles, destacam-se as compras públicas e a encomenda tecnológica, apresentadas como ferramentas estratégicas capazes de alinhar objetivos de desenvolvimento com inovação orientada por missão.

No capítulo 4, apresenta-se o estudo de caso da Encomenda Tecnológica conduzida pela Agência Espacial Brasileira para o desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial (SNI). A análise permite compreender como os conceitos de inovação pelo lado da demanda, discutidos nos capítulos anteriores, foram operacionalizados em um projeto concreto de alta complexidade tecnológica. Mais do que evidenciar os desafios técnicos envolvidos, o estudo revela também os aspectos jurídicos, institucionais e de gestão que marcaram a experiência, destacando a ETEC como instrumento capaz de articular atores públicos e privados em torno de uma demanda estratégica para a autonomia tecnológica nacional.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais, resgatando os principais achados do trabalho. São sintetizados os elementos centrais da mudança de paradigma no setor espacial, o papel estratégico do Estado no fomento à inovação e os aprendizados advindos do estudo de caso. A conclusão também aponta perspectivas futuras para o Brasil diante da nova economia espacial, sugerindo caminhos de política pública e estratégias de inserção internacional. A hipótese utilizada como base para este trabalho é que a utilização de instrumentos de política pública, como compras públicas para inovação e a Encomenda Tecnológica (ETEC), pode ser um vetor estratégico eficaz para fortalecer o Programa Espacial Brasileiro, ao mesmo tempo em que responde às demandas da inovação tecnológica no contexto da transição para o modelo *New Space*.

1.1 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral deste trabalho é investigar como as compras públicas para inovação, em especial a encomenda tecnológica, podem ser utilizadas como instrumento estratégico para o fortalecimento do Programa Espacial Brasileiro, e, conseqüentemente, para o desenvolvimento socioeconômico do País.

Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Analisar como a transição do paradigma do *Old Space* para o *New Space* impacta o desenvolvimento tecnológico e gera oportunidades para países emergentes.
2. Examinar como o arcabouço institucional e jurídico brasileiro molda a capacidade do Estado em fomentar inovação, com destaque para políticas voltadas ao setor espacial.
3. Explorar como o estudo de caso da Encomenda Tecnológica do Sistema de Navegação Inercial (SNI) evidencia as potencialidades e limitações desse instrumento, fornecendo subsídios para seu aprimoramento.

Esses objetivos orientam diretamente a metodologia apresentada na seção 1.2. A análise dos paradigmas tecnológicos e da transformação do setor espacial fornece a base teórica para responder ao primeiro objetivo, enquanto a investigação sobre o arcabouço institucional e jurídico brasileiro é sustentada por revisão de literatura e análise documental. O segundo objetivo é abordado por meio da consulta a bases especializadas, como a biblioteca da plataforma InovaCPIN, bem como pelo levantamento de referências nacionais e internacionais sobre compras públicas para inovação. Por fim, o terceiro objetivo é alcançado com o estudo de caso da Encomenda Tecnológica do Sistema de Navegação Inercial (SNI), no qual a disponibilidade de ampla documentação, associada à observação direta e participante do autor no setor espacial, permite compreender em profundidade como esse instrumento vem sendo aplicado na prática.

1.2 Metodologia da Pesquisa

A presente pesquisa caracteriza-se como exploratória, aplicada e qualitativa, tendo como método o estudo de caso. Conforme Nascimento (2016), pesquisas exploratórias visam proporcionar maior familiaridade com o problema investigado, permitindo ao pesquisador desenvolver e clarificar conceitos e ideias sobre fenômenos ainda pouco conhecidos. Nesse sentido, este trabalho busca compreender, de forma aprofundada, a utilização da Encomenda Tecnológica (ETEC) como instrumento de fomento à inovação no setor espacial, um tema ainda recente e pouco explorado na literatura nacional. Quanto à natureza, classifica-se como aplicada, pois tem como propósito gerar conhecimento voltado à solução

de um problema prático e institucional: o fortalecimento do Programa Espacial Brasileiro por meio de políticas de compra pública para inovação. Em relação à abordagem do problema, adota-se o enfoque qualitativo, uma vez que o estudo enfatiza a interpretação de fenômenos e a compreensão de suas dinâmicas no contexto institucional da Agência Espacial Brasileira. Por fim, quanto ao método, utiliza-se o estudo de caso, conforme proposto por Yin (2014), que permite examinar em profundidade um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, integrando múltiplas fontes de evidência. Essa combinação metodológica é adequada para analisar a experiência da ETEC do Sistema de Navegação Inercial (SNI) e compreender suas implicações para a política de inovação tecnológica no Brasil.

A metodologia adotada foi estruturada de modo a articular fundamentos teóricos clássicos da inovação com a análise aplicada de um caso concreto no setor espacial brasileiro. Para a construção do referencial teórico (Capítulo 2), procedeu-se inicialmente a um levantamento das principais obras de autores reconhecidos como fundadores dos estudos de inovação. A seleção desses autores baseou-se na série *Clássicos da Inovação*, publicada pela Editora Unicamp (2025), que reúne obras de referência de autores como Giovanni Dosi, Richard Nelson, Nathan Rosenberg, David Mowery e Christopher Freeman. O estudo desses autores permitiu identificar os conceitos estruturantes de paradigmas tecnológicos, revoluções tecnológicas e sistemas de inovação.

Na seção 2.1, foram utilizadas as obras de Giovanni Dosi para tratar dos paradigmas e trajetórias tecnológicas, enfatizando a natureza cumulativa e dependente de trajetória do progresso tecnológico. A seção 2.2 concentrou-se nas contribuições de Joseph Schumpeter, especialmente em suas obras *Teoria do Desenvolvimento Econômico e Capitalismo, Socialismo e Democracia*, que introduzem os conceitos de ciclos econômicos e de Destruição Criativa. Para reforçar a análise e demonstrar a vitalidade contemporânea de suas ideias, foram incorporados autores que expandiram e formalizaram seus conceitos, como os ganhadores do Prêmio Nobel de Economia de 2025 (Aghion, Howitt e Mokyr), além de Segerstrom, Christensen e Grossman e Helpman, que complementam o arcabouço schumpeteriano com modelagens sobre inovação, escadas de qualidade e o dilema do inovador.

A seção 2.3 sobre a Revolução Tecnológica fundamentou-se sobretudo em Nathan Rosenberg e David Mowery, que abordam as interações entre ciência, tecnologia e instituições no avanço econômico. Para contextualizar historicamente essas transformações, também foram mobilizadas obras de Hobsbawm e Cumming, que examinam o século XX sob a ótica das mudanças estruturais decorrentes da inovação tecnológica.

Já a seção 2.4 examinou as transformações contemporâneas do setor espacial, caracterizadas pelo paradigma *New Space*. Foram selecionadas cinco tecnologias emblemáticas (foguetes reutilizáveis, CubeSats, propulsão híbrida e lançamentos responsivos) previamente identificadas e analisadas em trabalho anterior do autor (Imbuzeiro, 2022),

acrescidas do conceito de *Ground Segment as a Service (GSaaS)*. Essas tecnologias foram utilizadas como referência para compreender como o *New Space* reconfigura cadeias produtivas, mercados e modelos institucionais.

Na subseção 2.4.6, o estudo mencionou tecnologias emergentes que poderão moldar o futuro do setor espacial, como mineração espacial, manufatura avançada, *On-Orbit Servicing, Assembly and Manufacturing (OSAM)*, agricultura espacial, gerenciamento de tráfego espacial e cibersegurança. Essas temáticas foram selecionadas a partir da participação qualificada do autor em eventos técnicos e de relatórios do *European Space Policy Institute (ESPI)*, servindo para indicar tendências disruptivas e oportunidades futuras de pesquisa e política pública.

Na subseção 2.4.7, foram identificadas as oportunidades para países emergentes a partir de revisão de literatura realizada na plataforma *Web of Science*, utilizando combinações de termos como “space AND emerging+countries”. Os resultados mais citados tiveram seus resumos analisados e, posteriormente, os artigos selecionados foram integralmente lidos e incorporados à discussão, compondo uma visão sobre o papel do Sul Global na nova economia espacial.

O Capítulo 3 analisou o papel do Estado no fomento à inovação. A introdução utilizou Adam Smith para estabelecer o fundamento teórico da ação estatal na economia. Em seguida, a seção 3.1 baseou-se em Nelson e Freeman para explorar a concepção de Sistemas Nacionais de Inovação, enquanto Mariana Mazzucato foi utilizada para discutir o Estado empreendedor e as políticas de missão. A seção 3.2 abordou o arcabouço legal brasileiro para ciência, tecnologia e inovação, e a seção 3.3 investigou os instrumentos de fomento, com destaque para as compras públicas e a Encomenda Tecnológica (ETEC). Nessa parte, foram mobilizadas referências disponíveis na biblioteca da plataforma *InovaCPIN*¹, especializada em compras públicas para inovação, e discutidas comparações com experiências internacionais, notadamente a atuação da NASA durante o Programa Apollo, conforme referência apontada por Mazzucato.

O Capítulo 4 constituiu o estudo de caso central da dissertação, abordando a Encomenda Tecnológica conduzida pela Agência Espacial Brasileira (AEB) para o desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial (SNI). Foram analisados documentos administrativos, relatórios técnicos e registros organizacionais, além de realizada uma entrevista com ator de relevância no projeto. A análise buscou compreender os desafios técnicos, jurídicos e institucionais enfrentados na execução do instrumento, bem como seus resultados em termos de aprendizado tecnológico e coordenação interinstitucional. Conforme indicado por Yin (2014), o estudo de caso se mostra particularmente adequado para responder perguntas de pesquisa do tipo "como", em contextos nos quais o pesquisador não detém controle sobre os fenômenos estudados e quando os eventos são contemporâneos.

¹ Disponível em: <<https://inovacpin.org/biblioteca>>. Acesso em 10/08/2025

Diferentemente de experimentos, que exigem manipulação direta de variáveis, o estudo de caso permite a análise de processos complexos em andamento, utilizando múltiplas fontes de evidência.

As fontes de evidência mobilizadas neste trabalho incluem: (i) documentação administrativa e relatórios disponíveis na AEB; (ii) registros organizacionais e dados públicos do governo brasileiro; (iii) literatura acadêmica e artigos científicos; (iv) uma entrevista realizada com ator de relevância; e (v) observação direta e participante. Esta última decorre da experiência profissional do autor como funcionário de instituição de relevância no setor espacial, tendo atuado no Departamento de Acompanhamento de Assuntos Espaciais (DAAE) da Presidência da República e por quase cinco anos na Agência Espacial Brasileira. Tais posições possibilitaram acesso singular a reuniões, discussões institucionais e interações diretas com *stakeholders* do Programa Espacial Brasileiro, garantindo uma perspectiva interna ao mesmo tempo em que exigiram cautela metodológica para mitigar vieses.

Destaca-se, ainda, que o autor integra a equipe técnica responsável pela implementação da ETEC na AEB, o que confere a este trabalho, do ponto de vista metodológico, o caráter de relato de experiência. Essa condição permitiu observar diretamente aspectos operacionais e institucionais do processo, enriquecendo a compreensão sobre os desafios enfrentados. Por outro lado, por se tratar de uma iniciativa em andamento e que envolve tecnologia de uso dual, associada a temas sensíveis de defesa nacional, determinadas informações não puderam ser divulgadas. Em que pese o autor ter acesso ao acervo de documentação interna supracitado e analisou-o para obter maior contextualização, ressalta-se que todas as informações utilizadas no presente trabalho estão disponíveis publicamente na *internet*.

Assim, a estratégia metodológica do trabalho combina: (i) um arcabouço teórico robusto, baseado em autores clássicos da inovação; (ii) uma revisão de literatura moderna sobre o *New Space*; (iii) a utilização de múltiplas fontes de evidência no estudo de caso do SNI; e (iv) o uso de plataformas especializadas como o *InovaCPIN* para sustentar a análise do papel das compras públicas no fomento à inovação. Esclarece-se, por fim, que esta pesquisa não objetivou realizar uma revisão sistemática de literatura *per se*, o que devidamente necessitaria de um processo metodológico específico (Brito; Martins, 2023).

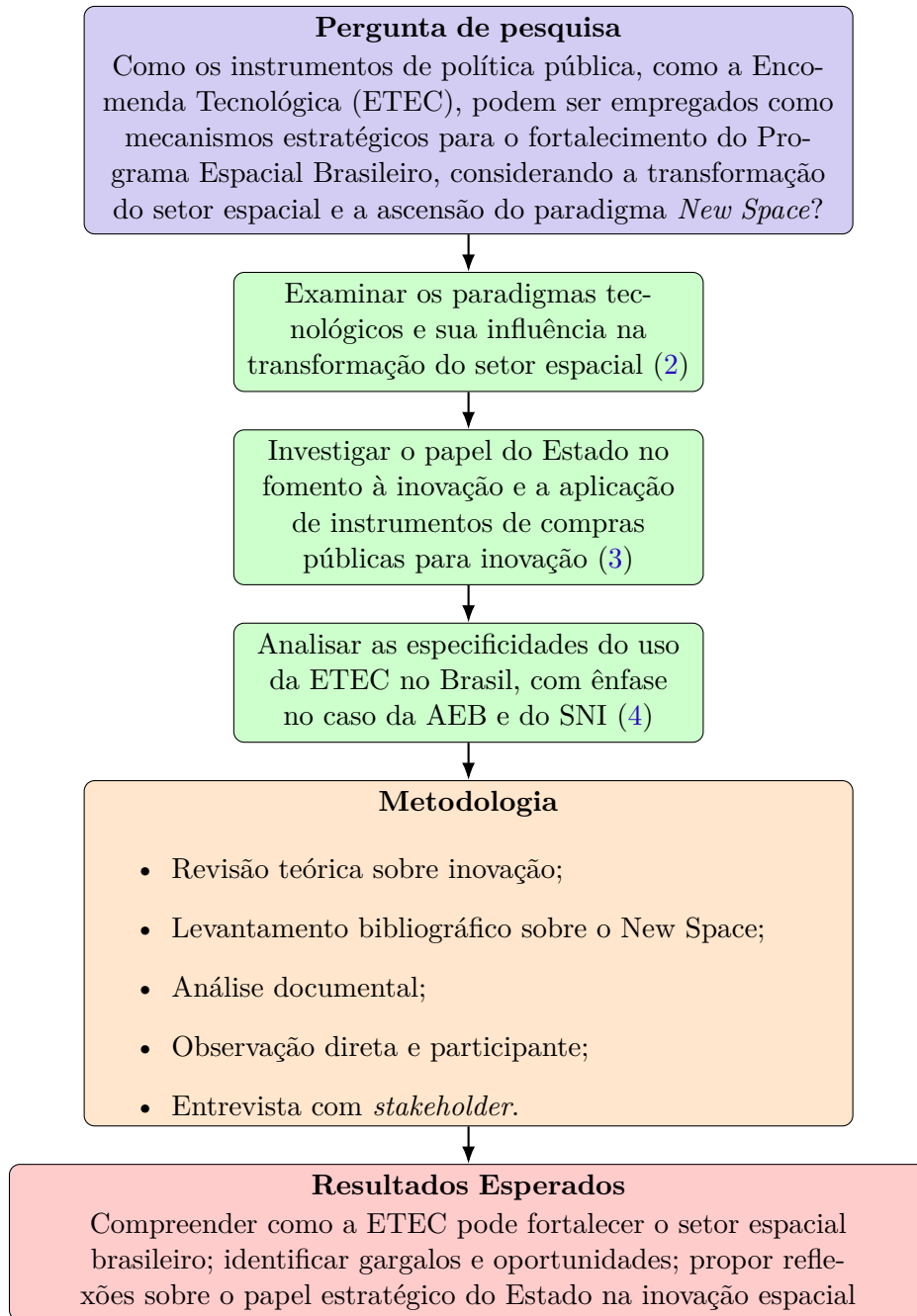


Figura 1 – Relação entre a pergunta de pesquisa, objetivos específicos, metodologia e resultados esperados

2 Paradigmas tecnológicos e a transformação do setor espacial

O avanço tecnológico e a inovação têm sido forças determinantes na transformação das estruturas econômicas e sociais. No setor espacial, em particular, essas forças redefiniram padrões produtivos, modelos de negócios e as próprias formas de atuação de Estados e empresas. Este capítulo busca analisar como a inovação tecnológica se articula com a economia e com a sociedade, apresentando diferentes interpretações teóricas e relacionando-as às transformações em curso na área espacial.

Na seção 2.1, são discutidos os paradigmas tecnológicos, conceito central para compreender como certas trajetórias tecnológicas ganham predominância ao longo do tempo. Essa abordagem permite explicar por que determinados padrões de inovação se consolidam e estruturam a dinâmica de setores inteiros, inclusive o espacial.

Em seguida, a seção 2.2 explora a noção de destruição criativa e os ciclos econômicos de Schumpeter, ressaltando como a inovação não apenas promove crescimento econômico, mas também desestabiliza estruturas estabelecidas e cria novas oportunidades.

A seção 2.3 apresenta a visão de Rosenberg sobre a revolução tecnológica, evidenciando o caráter histórico e cumulativo da inovação e sua capacidade de transformar profundamente as sociedades. Essa leitura destaca que mudanças tecnológicas não ocorrem de maneira isolada, mas estão sempre imersas em contextos sociais, econômicos e institucionais.

Por fim, a seção 2.4 discute o fenômeno do *New Space* como uma mudança de paradigma dentro do setor espacial. São abordados os principais vetores dessa transformação, como foguetes reutilizáveis, miniaturização de satélites, sistemas de propulsão inovadores, lançamentos responsivos, novos modelos de tratamento de dados e a inserção de países emergentes na economia espacial.

Essas quatro perspectivas (paradigmas tecnológicos, destruição criativa, revoluções tecnológicas e *New Space*) fornecem um quadro analítico que será articulado ao longo do capítulo. A partir delas, é possível compreender como a inovação molda a trajetória do setor espacial, ampliando fronteiras de atuação e redefinindo a relação entre ciência, tecnologia e economia. A inovação, enquanto motor do desenvolvimento econômico, desempenha um papel fundamental na dinâmica das sociedades modernas. Explora-se como a inovação não apenas impulsiona o crescimento econômico, mas também desafia estruturas existentes, criando oportunidades e desafios para empresas e governos.

É abordado ainda o efeito da inovação em países em desenvolvimento, trazendo

exemplos do setor espacial. Da mesma forma, a abordagem de Popper (1959) sobre a filosofia da ciência enfatiza a necessidade de testar e refutar teorias para avançar no conhecimento científico. Enquanto a inovação busca redefinir paradigmas e transcender fronteiras, a filosofia de Popper desafia a visão tradicional da ciência, promovendo a falsificabilidade como critério fundamental para distinguir entre teorias científicas válidas e inválidas (Blaug, 1993).

A inovação não deve apenas impulsionar o crescimento econômico, mas também desafiar estruturas existentes e garantir um progresso sustentável. Os conceitos convergem ao enfatizar a necessidade de uma abordagem crítica e inovadora para enfrentar os desafios contemporâneos, seja no campo da ciência ou no desenvolvimento econômico.

De acordo com Dosi e Nelson (1994), a economia evolucionária é um *framework* que considera os processos econômicos como dinâmicos e em constante evolução, impulsionados pela inovação, mudanças tecnológicas e as interações entre os agentes econômicos. Diferentemente da economia tradicional, que frequentemente assume a existência de equilíbrio, a economia evolucionária foca nos processos de mudança e na diversidade de agentes econômicos, enfatizando como indústrias e tecnologias se desenvolvem ao longo do tempo por meio de mecanismos como variação, seleção e retenção.

A noção de "design dominante"¹ refere-se a uma etapa na evolução de um campo tecnológico em que um determinado design ou conjunto de padrões se torna amplamente aceito e estabelecido como norma. Esse design dominante geralmente emerge após um período de experimentação e competição entre várias alternativas, no qual um design supera os demais devido a fatores como eficiência, escalabilidade ou efeitos de rede. Uma vez estabelecido, o design dominante pode moldar a trajetória das inovações futuras e limitar a diversidade de designs na indústria. Esse conceito destaca como o progresso tecnológico nem sempre é linear, mas envolve períodos de estabilidade, nos quais determinados designs predominam, seguidos por períodos de mudança, quando novas inovações desafiam o *status quo*.

2.1 Os paradigmas tecnológicos

O trabalho seminal de Giovanni Dosi (1982) sobre paradigmas e trajetórias tecnológicas oferece um *framework* fundamental para compreender o progresso técnico e seus determinantes. Inspirando-se no conceito de paradigma científico de Thomas Kuhn, Dosi argumenta que também no domínio tecnológico existem “matrizes” que definem o campo de possibilidades para engenheiros, cientistas e empresas.

Um *paradigma tecnológico* é entendido como um conjunto de procedimentos, so-

¹ Dosi e Nelson (1994) utilizam o termo como sinônimo de "paradigma tecnológico", a ser explicitado na seção 2.1. Vide página 164 do artigo citado.

luções exemplares, critérios de eficiência e heurísticas que estabelecem quais problemas merecem ser investigados, quais caminhos são tecnicamente aceitáveis e quais resultados são economicamente relevantes. Tal como Kuhn descreveu para a ciência, o paradigma tecnológico funciona como uma lente cognitiva e institucional, limitando e ao mesmo tempo orientando as opções dos agentes.

Dentro desse quadro, as *trajetórias tecnológicas* correspondem aos caminhos específicos trilhados dentro de um paradigma, caracterizados por processos cumulativos de aperfeiçoamento e refinamento de tecnologias existentes. Enquanto o paradigma estabelece o horizonte de possibilidades, a trajetória marca o percurso incremental de exploração de soluções técnicas. A maior parte do progresso tecnológico ocorre nesse nível, com inovações incrementais que aumentam eficiência, reduzem custos ou tornam sistemas mais confiáveis. Essa ênfase nos aperfeiçoamentos progressivos explica a relativa estabilidade de certos setores ao longo do tempo, até que rupturas maiores abram espaço a mudanças de paradigma.

A inovação radical, em contraste, corresponde a avanços que alteram significativamente as bases técnicas estabelecidas, criando novos paradigmas e descontinuidades no processo. [Dosi et al. \(1988\)](#) ressaltam que a emergência de novos paradigmas geralmente envolve a entrada de novos agentes, pequenas empresas ou novos grupos de pesquisa, que desafiam os incumbentes. Muitas vezes, os grandes atores permanecem presos ao paradigma dominante, investindo pesadamente em sua exploração incremental, enquanto novos entrantes assumem riscos e exploram soluções não convencionais. Essa tensão explica por que mudanças de paradigma frequentemente resultam em reconfigurações de mercado e em deslocamento de liderança tecnológica.

Um aspecto central da análise de Dosi é a crítica a modelos lineares de mudança técnica. Ele rejeita tanto a visão *demand-pull*, segundo a qual a inovação responderia diretamente às pressões de mercado, quanto a perspectiva *technology-push*, que atribui primazia absoluta ao avanço científico. Em vez disso, a mudança técnica é vista como resultado de um processo interativo e histórico, no qual ciência, mercado, instituições e experiências acumuladas se combinam para moldar a direção das inovações ([Dosi, 1982](#)). A escolha de rotas tecnológicas, portanto, não é apenas técnica ou econômica, mas também política e institucional, refletindo incentivos, capacidades de financiamento e estruturas de governança.

Em colaboração com outro autor expoente, [Dosi e Nelson \(1994\)](#) inseriram essa perspectiva no campo mais amplo da economia evolucionária. Nessa abordagem, a economia é compreendida como um sistema dinâmico em permanente transformação, impulsionado por variação, seleção e retenção. Empresas e instituições não dispõem de racionalidade perfeita, mas operam sob condições de racionalidade limitada e aprendizado imperfeito, acumulando rotinas que orientam suas escolhas tecnológicas. O progresso não

é, portanto, linear nem previsível, mas marcado por diversidade de soluções, competição entre trajetórias e eventual consolidação de novos paradigmas.

Essa leitura ajuda a compreender que a inovação pode ser incremental, radical ou sistêmica. A inovação incremental mantém a lógica do paradigma dominante, promovendo melhorias graduais; a radical rompe com esse padrão, criando novos paradigmas; e a sistêmica envolve a articulação de múltiplas tecnologias, setores e instituições em novas configurações. Essas distinções são úteis para interpretar fenômenos como a transição do *Old Space* para o *New Space*. Durante o período do *Old Space*, a inovação esteve restrita a trajetórias incrementais, fortemente controladas por agências governamentais e grandes empresas do setor aeroespacial. Por outro lado, o *New Space* exemplifica uma mudança de paradigma, com a entrada de novos atores e modelos de negócio que introduzem inovações radicais, como foguetes reutilizáveis, constelações de satélites em larga escala e plataformas comerciais de acesso ao espaço, capazes de reconfigurar toda a indústria.

Empresas como SpaceX, Rocket Lab e Blue Origin introduziram novos paradigmas ao reduzir custos, aumentar a acessibilidade e desafiar players tradicionais, incorporando a inovação radical que levou a uma mudança de paradigma tecnológico na indústria espacial. Essa dinâmica evidencia que a trajetória tecnológica do setor espacial não pode ser entendida apenas pela ótica dos avanços técnicos em si, mas deve ser vista como o resultado de um processo histórico, institucional e econômico. O paradigma vigente molda as possibilidades, mas são as mudanças institucionais, os incentivos econômicos e a capacidade de novos entrantes desafiar o estabelecido que explicam as grandes transições.

Assim, a análise de paradigmas e trajetórias fornece não apenas um enquadramento conceitual para compreender o passado do setor espacial, mas também uma ferramenta para interpretar seus desafios e oportunidades futuras.

2.2 A Destruição Criativa e os Ciclos Econômicos de Schumpeter

Joseph Schumpeter, renomado economista do século XX, introduziu conceitos fundamentais que lançam luz sobre a dinâmica da inovação na economia. Um desses conceitos é o Fluxo Circular, um termo utilizado para dizer que a vida econômica se repete, ocorrendo pelos mesmos canais todo ano, tal como a circulação sanguínea de um animal. Este modelo estacionário, inerentemente em equilíbrio e no qual não há lucro, é utilizado por Schumpeter no primeiro capítulo da obra *Teoria do Desenvolvimento Econômico* (Schumpeter, 1997) para servir como ponto de partida comparativo ao que de fato ocorre na sociedade.

A sociedade e a vida econômica não são estáticas, mas dinâmicas e passam por mudanças. No capítulo 2, então, é abordada a razão destas mudanças, a figura do empreendedor inovador. Surge assim um segundo conceito fundamental de Schumpeter, hoje

referenciado como Destruição Criativa. Este termo refere-se à ideia de que inovações disruptivas e avanços tecnológicos não apenas criam novas oportunidades econômicas, mas também levam à obsolescência e substituição de modelos antigos.

Em *Capitalismo, Socialismo e Democracia*, Schumpeter afirma que o capitalismo é, por natureza, um processo evolutivo que “revolucionar incessantemente a estrutura econômica a partir de dentro, destruindo continuamente a antiga e criando continuamente uma nova” (Schumpeter, 2003, p. 83). Essa “mutação industrial”, como o autor a denomina, constitui a essência do sistema capitalista e explica o caráter cíclico de sua expansão e transformação. Schumpeter acrescenta que este processo é o verdadeiro motor do capitalismo, cuja natureza não é estática, mas transformadora, um sistema que “nunca é, e nunca pode ser, estacionário” (Schumpeter, 2003, p. 82).

A competição capitalista, de acordo com Schumpeter, é impulsionada por ciclos de Destruição Criativa, nos quais empresas inovadoras não apenas geram riqueza, mas também destroem ou tornam obsoletas as estruturas econômicas existentes. A Destruição Criativa é um processo dinâmico e essencial para o progresso econômico a longo prazo. Ela envolve a constante substituição de velhas tecnologias, produtos e modelos de negócios por novos e mais eficientes. Schumpeter via a inovação como o motor fundamental por trás do desenvolvimento econômico, e a Destruição Criativa como um componente necessário desse processo.

Schumpeter ressalta ainda que o impulso fundamental que mantém o “motor capitalista em movimento provém dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção e transporte, dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criadas pelo empreendimento capitalista” (Schumpeter, 2003, p. 83). Esses elementos não apenas estimulam o crescimento, mas redefinem as fronteiras da economia, criando sucessivas ondas de inovação que substituem as anteriores.

Essa perspectiva foi posteriormente formalizada por Aghion e Howitt (1992) em seu modelo de crescimento endógeno baseado na Destruição Criativa. Os autores demonstram que o progresso tecnológico ocorre por meio de inovações verticais (melhorias qualitativas nos produtos) que, ao surgirem, tornam obsoletos os produtos e tecnologias anteriores. Cada nova geração de inovações substitui a anterior, gerando crescimento sustentado e, ao mesmo tempo, um processo contínuo de obsolescência. Essa dinâmica ilustra o caráter ambivalente do progresso tecnológico: ele cria ganhos de produtividade e bem-estar, mas também implica perdas econômicas para setores ultrapassados, exatamente como sugerido por Schumpeter.

Embora possa parecer desafiadora para as empresas estabelecidas, a inovação é vista como uma força que garante a eficiência e a adaptação contínua às mudanças no ambiente econômico. Tidd, Bessant e Pavitt (2005) dizem que uma organização incapaz de gerar mais inovação corre o risco de ser deixada para trás, enquanto novas empresas

lideram as mudanças com novos produtos ou processos (o mesmo poderia ser dito de um país). A vantagem competitiva advém da oferta de um serviço melhor (mais rápido, mais barato e de qualidade superior) e, no momento em que uma organização oferece sua inovação, esta adquire a possibilidade de assumir uma posição monopolística momentânea, que em sequência passa a ser confrontada por outras empresas ao tentarem imitar a inovação.

Schumpeter observou que, diferentemente da competição por preços descrita pela teoria econômica clássica, a verdadeira força competitiva do capitalismo surge da competição entre novas tecnologias, produtos e modelos organizacionais, uma de qualidade, "que atinge não as margens dos lucros e da produção das empresas existentes, mas sim seus alicerces e suas próprias vidas" (Schumpeter, 2003, p. 84). Para Schumpeter, é precisamente esse tipo de competição, a que substitui, que garante a vitalidade do sistema capitalista, impulsionando a economia para frente através de contínuas ondas de inovação e reorganização.

Complementando a visão teórica de Schumpeter, Mokyr (1990) argumenta que o progresso tecnológico é o "alavancador das riquezas" das nações, uma força motriz que eleva os padrões de vida ao longo do tempo. Segundo ele, a criatividade tecnológica constitui o fundamento histórico do crescimento econômico, uma vez que permite à sociedade expandir sua fronteira de produção sem a necessidade proporcional de mais recursos físicos. Essa expansão é, essencialmente, a tradução histórica da Destruição Criativa schumpeteriana: novas ideias e descobertas substituem antigos paradigmas produtivos, criando uma sucessão de 'almoços gratuitos': ganhos de eficiência que transformam as bases do bem-estar material.

Exemplos práticos ilustram a relevância desses conceitos. A transição da era industrial para a era da informação é um exemplo clássico de Destruição Criativa, onde tecnologias emergentes tornaram obsoletos muitos empregos e indústrias tradicionais, ao mesmo tempo em que abriram caminho para novas oportunidades e setores. Empresas inovadoras, como a Apple, com seus dispositivos revolucionários, ou a Uber, com seu modelo de negócios disruptivo, são exemplos concretos, onde a inovação impulsiona a expansão econômica ao criar novas possibilidades e desafios para o *status quo*. Esses conceitos são ferramentas valiosas para compreender como a inovação molda a dinâmica econômica ao longo do tempo, estimulando o crescimento, mas também desafiando e remodelando as estruturas existentes. Ao mesmo tempo, podemos perceber hoje que as inovações originadas por essas empresas se encontram inseridas na sociedade de forma orgânica e distribuída.

Mokyr também destaca que a inovação tecnológica deve ser compreendida como um processo cumulativo, em que microinvenções incrementais sustentam as grandes rupturas tecnológicas, chamadas de macroinvenções. Essa interação entre pequenos e grandes avanços cria um ambiente propício ao crescimento de longo prazo, reforçando a ideia de

que a destruição criativa não é apenas um fenômeno econômico, mas também cultural e social, dependente da capacidade das sociedades de aceitar o novo e absorver o obsoleto.

O trabalho de [Segerstrom \(1991\)](#) sobre inovação, imitação e crescimento econômico se relaciona de forma significativa com o conceito de Destruição Criativa. Segerstrom apresenta um modelo dinâmico de equilíbrio geral que incorpora tanto atividades inovadoras quanto imitativas, refletindo a competição e mudança constantes no ambiente econômico. Assim como a Destruição Criativa de Schumpeter, o modelo de Segerstrom destaca a importância da inovação na geração de crescimento econômico a longo prazo.

No modelo de Segerstrom, as empresas estão constantemente envolvidas em corridas de P&D inovadoras e imitativas, buscando descobrir novos produtos superiores e produzir produtos de qualidade de ponta. Essa competição leva não apenas à criação de novas oportunidades econômicas, mas também à obsolescência e substituição de modelos antigos, refletindo este processo de Destruição Criativa. Assim como Schumpeter enfatizou a importância da inovação como motor do desenvolvimento econômico, Segers-trom destaca que a inovação e a imitação são componentes essenciais para impulsionar o crescimento econômico.

Além disso, o modelo de Segerstrom mostra que a subsidiação da inovação pode promover o crescimento econômico, mas somente se a intensidade do esforço inovador atingir um nível crítico. Isso ressalta a necessidade de um ambiente dinâmico e competitivo, onde as empresas são incentivadas a inovar constantemente para se manterem relevantes e competitivas, em linha com o conceito de Destruição Criativa de Schumpeter. Esse entendimento é coerente com a noção schumpeteriana de que o desenvolvimento econômico é intrinsecamente um “processo de mutação industrial”, anteriormente mencionado. Portanto, ao analisar o trabalho de Segerstrom em conjunto com o conceito de Schumpeter, podemos observar como a inovação, a imitação e a competição entre empresas desempenham um papel fundamental na moldagem da dinâmica econômica, impulsionando o crescimento, desafiando estruturas existentes e criando novas oportunidades ao longo do tempo.

Os conceitos de escadas de qualidade e ciclos de produto complementam a teoria da Destruição Criativa de Schumpeter ao explorar a dinâmica da inovação e imitação na economia ([Grossman; Helpman, 1991](#)). A ideia de escadas de qualidade representa a constante busca por aprimoramento e diferenciação dos produtos, impulsionando a competição e a busca por inovações disruptivas. Por outro lado, os ciclos de produto refletem a evolução dos mercados, com a migração da produção entre regiões e a substituição de modelos antigos por novos. Esses processos estão intrinsecamente ligados à Destruição Criativa, pois envolvem a constante renovação e obsolescência de tecnologias e produtos existentes.

A relação entre as escadas de qualidade, ciclos de produto e a Destruição Criativa

de Schumpeter evidencia a importância da inovação e da competição para o progresso econômico a longo prazo. Assim como a Destruição Criativa impulsiona a substituição de estruturas econômicas obsoletas por novas oportunidades, as escadas de qualidade e os ciclos de produto incentivam a constante busca por melhorias e a adaptação às mudanças do mercado. A interação desses conceitos demonstra como a inovação, a imitação e a concorrência entre empresas são elementos essenciais para moldar a dinâmica econômica, estimulando o crescimento, desafiando as estruturas existentes e criando novas possibilidades ao longo do tempo.

Schumpeter explica que os períodos de prosperidade e recessão comuns ao processo capitalista de desenvolvimento econômico compõem os Ciclos Econômicos. Assim, a inovação leva a um momento de prosperidade na sociedade, no qual vários *players* estão empregando recursos financeiros e humanos (investimento) para ganharem espaço de mercado com a inovação criada pela empresa pioneira. Esta é a fase de expansão. Durante esses períodos, as empresas introduzem novos produtos, processos e modelos de negócios, impulsionando o desenvolvimento econômico.

Em contraste, no momento em que a inovação encontra-se distribuída e inserida na sociedade, as empresas deixam de investir e pode-se iniciar um período de recessão, a fase de contração do ciclo econômico. Assim, a inovação desempenha um papel crucial para manter a roda econômica girando a favor da prosperidade socioeconômica. Em sinergia com Schumpeter, Tidd, Bessant e Pavitt afirmam que as vantagens para a empresa pioneira de uma determinada inovação gradualmente são dissipadas à medida em que outros a imitam. Neste aspecto micro, olhando para uma empresa, percebe-se que ela passa a enfrentar o Dilema do Inovador ([Christensen, 2013](#)), no qual deve enfrentar as dificuldades de gerenciar simultaneamente o estado atual e os aspectos disruptivos.

Em uma sociedade moderna altamente disruptiva, o último século soma uma miríade de empresas que surgiram a partir de uma inovação e sucumbiram perante uma inovação subsequente, deve ser considerado louvável o feito de continuamente inovar. No aspecto macro, ao visualizar a sociedade como um todo, Schumpeter parece insinuar uma certa dependência da inovação. Para que continue havendo desenvolvimento econômico, a sociedade deve constantemente buscá-la, sob a penalidade de que, ao não inovar, seja estabelecida uma economia socialista, na qual não há mais o lucro como fator motivacional para a inovação e as instituições perderam a estrutura organizacional necessária para tal.

Neste contexto encarrega-se ainda mais importância à figura do empreendedor, sendo aquele que possui a função de reunir os fatores produtivos em combinações novas. Em tom de crítica, ele diz que o empresário não é somente um administrador, mas que reúne características específicas como liderança, visão estratégica e determinação que ocasionam na realização da atividade inovadora. Um dos desafios ao empreendedor é não

perder essas características pessoais inerentes após estabelecer seu negócio, no processo de mantê-lo. Tão crucial é o empreendedor que Schumpeter considera não ser algo que possa ser herdado pelos descendentes, mesmo reconhecendo haver famílias industriais de sucesso, mas que provavelmente permanecem até hoje valendo-se de sucessivas inovações incrementais.

O fim do modelo capitalista é vislumbrado dada a ocorrência de empresas que ao invés de serem lideradas por empreendedores inovadores, são administradas por gestores incapazes de inovar, o que, resumidamente, leva à insurgência de uma população contrária à riqueza, influenciada por uma classe de intelectuais, e à diminuição da força política apoiadora do modelo competitivo. A convergência entre Schumpeter, Mokyr e Aghion e Howitt revela que o progresso tecnológico não é apenas consequência da acumulação de capital ou de políticas econômicas favoráveis, mas da capacidade criativa e institucional de fomentar inovações que alteram a trajetória produtiva. O crescimento, portanto, é tanto econômico quanto cognitivo/cultural, alimentado pela contínua realocação de recursos em direção a novas fronteiras de eficiência.

2.3 Rosenberg e a Revolução Tecnológica

O trabalho de Nathan [Rosenberg \(1982\)](#) oferece uma exploração profunda das dinâmicas de mudança tecnológica e seus impactos econômicos. Em *Inside the Black Box*, Rosenberg enfatiza a natureza não linear e frequentemente imprevisível dos avanços tecnológicos, argumentando que a inovação não é o resultado de descobertas isoladas, mas um processo iterativo e cumulativo, moldado pela interação entre ciência, indústria e instituições.

Sua análise abre a “caixa-preta” da tecnologia ao identificar padrões recorrentes que explicam o ritmo e a direção do progresso técnico, propondo que este deve ser entendido como um fenômeno sistêmico e interdependente, com efeitos que se propagam para além do setor onde surgem.

Rosenberg destaca a importância de compreender os efeitos econômicos da mudança tecnológica, pois eles podem levar a mudanças significativas nas estruturas industriais, dinâmicas de mercado e até mesmo no panorama econômico mais amplo. Essas mudanças frequentemente emergem de melhorias incrementais e do impacto cumulativo de pequenas inovações, em vez de descobertas revolucionárias e singulares. Essa perspectiva desafia a visão tradicional de que a mudança tecnológica é sempre disruptiva, sugerindo que seu impacto econômico pode ser gradual e multifacetado.

A partir da obra de Rosenberg e de análises secundárias ([Albuquerque, 2017](#)), é possível estruturar cinco eixos fundamentais para compreender em maior profundidade a revolução tecnológica.

O primeiro deles refere-se às complementaridades tecnológicas e aos *clusters* de inovação. Rosenberg enfatiza que “*inventions hardly ever function in isolation*”, isto é, invenções raramente funcionam de forma isolada (Rosenberg, 1982, p. 56). O *payoff* social de uma inovação só pode ser entendido quando inserido em um núcleo de transformações interdependentes. A Revolução Industrial ilustra bem esse mecanismo: avanços no uso do vapor, na metalurgia do ferro e na exploração de combustíveis minerais se reforçaram mutuamente, irradiando efeitos em círculos concêntricos sobre múltiplos setores. Esse raciocínio é particularmente relevante para o setor espacial contemporâneo, no qual propulsão, novos materiais e sistemas eletrônicos se combinam em *clusters* de inovação, cuja eficácia depende da interação e do aperfeiçoamento conjunto dessas áreas.

O segundo eixo identificado por Rosenberg é o impacto cumulativo de pequenas melhorias. Em contraposição à ideia de que o progresso decorre apenas de rupturas radicais, ele destaca que cadeias longas de ajustes incrementais, sejam eles voltados à eficiência, à confiabilidade ou à redução de custos, podem, ao se acumularem, provocar transformações profundas na estrutura produtiva. Essa lógica é evidente no setor espacial, em que a miniaturização de componentes eletrônicos e as melhorias sucessivas em painéis solares e sistemas de navegação permitiram avanços significativos no desempenho de satélites e lançadores, demonstrando como a acumulação de inovações aparentemente marginais sustenta saltos tecnológicos duradouros.

As relações interindustriais constituem o terceiro eixo fundamental da análise de Rosenberg. O desenvolvimento tecnológico raramente se restringe ao setor em que surge, reverberando em cadeias produtivas adjacentes ou até mesmo em indústrias totalmente distintas. Tecnologias como a eletrificação, os plásticos e a eletrônica são exemplos históricos de inovações que desencadearam efeitos em cascata sobre diferentes ramos da economia. O setor espacial reproduz essa lógica, pois avanços originalmente voltados à corrida espacial encontraram aplicações em telecomunicações, meteorologia, agricultura de precisão e logística, ao mesmo tempo em que se beneficiaram de desenvolvimentos originados em outros setores industriais, como a informática e os novos materiais.

Rosenberg também discute a noção de expectativas tecnológicas, particularmente a ideia de que a vida útil ideal de uma tecnologia seria mais curta em contextos onde as mudanças esperadas são maiores. Esse conceito baseia-se no entendimento de que, em ambientes tecnológicos de rápida mudança, o valor de uma determinada tecnologia diminui mais rapidamente, exigindo ciclos de vida mais curtos e uma substituição mais rápida. Essa expectativa é particularmente relevante em indústrias caracterizadas por inovações rápidas e atualizações tecnológicas frequentes. Para Rosenberg, a decisão de investir ou adotar determinada tecnologia não se baseia apenas em sua maturidade presente, mas também nas expectativas quanto ao seu futuro.

No setor espacial, esse fenômeno é particularmente perceptível, pois muitas de-

cisões estratégicas de investimento aguardam novas gerações de lançadores ou satélites antes de se concretizarem, refletindo tanto uma percepção de risco quanto a busca por melhor custo-benefício. A indústria desse setor é inerentemente complexa e interdependente, com complementaridades significativas entre diversos domínios tecnológicos, como sistemas de propulsão, ciência de materiais e tecnologias de comunicação.

O impacto cumulativo de pequenas melhorias é evidente nos avanços graduais no design de espaçonaves, capacidades de lançamento e tecnologias de satélite, que, coletivamente, impulsionam o progresso na exploração e comercialização espacial. As relações interindustriais também são cruciais, pois os avanços em tecnologias espaciais frequentemente têm implicações profundas para outros setores, como telecomunicações, defesa e monitoramento ambiental.

Por fim, Rosenberg introduz a noção de aprendizado pelo uso (*learning by using*), que complementa o consagrado conceito de aprendizado pela prática (*learning by doing*). Em sistemas complexos como turbinas, aeronaves ou foguetes, uma parte crucial do conhecimento só pode emergir da operação prática em condições reais. Esse aprendizado não apenas gera modificações incorporadas no design e nos materiais, mas também conhecimentos desincorporados, que transformam práticas de operação, manutenção e gestão. O setor espacial fornece exemplos paradigmáticos dessa lógica: a experiência acumulada em voos sucessivos, sejam tripulados ou não, retroalimenta continuamente o processo de inovação, permitindo ajustes incrementais e avanços significativos.

Esses cinco eixos constituem um arcabouço teórico que permanece fundamental para compreender tanto revoluções tecnológicas passadas quanto os desafios contemporâneos do setor espacial. Ao relacionar a análise de Rosenberg às transformações atuais, observa-se que a passagem do *Old Space* ao *New Space* segue operando segundo esses mesmos mecanismos: a inovação não resulta de descobertas isoladas, mas da interação constante entre ciência, indústria, Estado e sociedade, moldando as trajetórias tecnológicas e econômicas que sustentam a exploração espacial contemporânea.

A análise de [Mowery e Rosenberg \(1981\)](#) sobre a indústria de aeronaves comerciais em *Technical change in the commercial aircraft industry* serve como um exemplo pertinente dessas dinâmicas. A indústria de aeronaves comerciais, assim como o setor espacial, é caracterizada por altos níveis de interdependência tecnológica, onde melhorias em áreas como aerodinâmica ou materiais podem levar a avanços em outras. A natureza cumulativa do progresso tecnológico é evidente nos aperfeiçoamentos graduais no design de aeronaves, resultando em aeronaves mais eficientes e confiáveis ao longo do tempo. Além disso, as relações interindustriais na indústria aeronáutica, como os vínculos com o setor de defesa e o impacto nas redes globais de transporte, refletem a interconexão observada no setor espacial.

Os *insights* de Rosenberg sobre mudança tecnológica fornecem um *framework* va-

lioso para compreender as complexidades do setor espacial. As complementaridades entre diferentes tecnologias, o impacto cumulativo de melhorias incrementais e as relações interindustriais desempenham papéis cruciais na evolução das tecnologias espaciais. O setor espacial, assim como a indústria de aeronaves comerciais, exemplifica a intrincada interação entre tecnologia e economia, onde as expectativas de mudanças rápidas exigem ciclos de vida mais curtos para as tecnologias e inovação contínua.

Hobsbawm e Cumming (1995), em sua análise da revolução tecnológica do século XX, enfatizam as mudanças dramáticas e sem precedentes que varreram diversas indústrias. Eles descrevem como tecnologias como foguetes, miniaturização, lasers e energia nuclear simbolizaram os avanços durante o que ele chama de “Era de Ouro” após a Segunda Guerra Mundial. Esses avanços não foram apenas técnicos, mas também profundamente transformadores para a sociedade.

A revolução tecnológica redefiniu a vida cotidiana dos consumidores, à medida que inovações em eletrônica, transporte e energia alteraram a forma como as pessoas viviam, trabalhavam e se comunicavam. A miniaturização, por exemplo, permitiu que dispositivos como rádios e, posteriormente, computadores se tornassem mais acessíveis ao público em geral, ampliando o alcance das novas tecnologias muito além das indústrias especializadas. Nesse contexto, foguetes e a exploração espacial destacaram-se como realizações máximas da engenhosidade humana, representando as ambições da corrida espacial. Essa era também testemunhou uma crença mais ampla entre o público de que o progresso tecnológico melhoraria continuamente sua qualidade de vida.

Consumidores comuns viam o futuro como um período de avanços intermináveis, com novas invenções entrando regularmente no mercado, oferecendo mais conveniência, conforto e eficiência. A introdução de eletrodomésticos, automóveis e televisores reforçou a percepção de que a tecnologia era um motor de melhoria pessoal e social. Nesse sentido, o otimismo dos consumidores era alto, impulsionado pela promessa de progresso e um futuro estável e próspero.

Hobsbawm e Cumming (1995) também situam esses avanços tecnológicos dentro do contexto econômico e político mais amplo da era do *New Deal* pós-guerra, particularmente nos Estados Unidos. As políticas do *New Deal* lançaram as bases para o boom econômico ao promover uma economia mista, onde o governo desempenhava um papel significativo na promoção do pleno emprego e do crescimento industrial. Esse período de capitalismo apoiado pelo Estado, combinado com a inovação tecnológica, ajudou a impulsionar a expansão da classe média e a democratização dos benefícios tecnológicos.

À medida que os países reconstruíam suas economias, a crença de que a tecnologia poderia resolver desafios sociais e fornecer segurança tornou-se profundamente enraizada. Esse otimismo se estendeu a indústrias como a aeroespacial, que viam os foguetes não apenas como ferramentas militares, mas também como veículos para exploração e, even-

tualmente, empreendimentos comerciais.

A revolução tecnológica do século XX, impulsionada por iniciativas apoiadas pelo Estado, como o *New Deal*, e avanços em áreas como miniaturização e energia nuclear, lançou as bases para a evolução do setor espacial. A análise de Hobsbawm sobre a expansão econômica do pós-guerra destaca como essas inovações transformaram não apenas as indústrias, mas também as expectativas dos consumidores, que passaram a ver o progresso tecnológico como sinônimo de melhoria pessoal e social. Esse contexto preparou o terreno para a ascensão do *New Space*, onde a inovação não é apenas impulsionada por atores estatais, mas cada vez mais por empresas privadas que trazem novas ideias e tecnologias para o mercado.

Mais uma vez, essa revolução tecnológica estabeleceu o palco para o *Old Space* e o *New Space*. Inicialmente, a exploração espacial era dominada por atores estatais e grandes instituições governamentais, focando principalmente em objetivos da era da Guerra Fria, como tecnologia de mísseis e domínio espacial. No entanto, à medida que a tecnologia avançava, especialmente através da miniaturização da eletrônica, do desenvolvimento de lasers e de inovações em sistemas de propulsão, abriu-se caminho para que novas empresas entrassem no mercado, anunciando a era do *New Space*.

Assim como a indústria aeronáutica passou por uma transição com novos *players* surgindo ao lado de empresas estabelecidas, o setor espacial experimentou uma mudança semelhante. A análise de Mowery e Rosenberg sobre mudanças técnicas na indústria de aeronaves comerciais destaca esse padrão, onde empresas estabelecidas frequentemente introduzem grandes avanços tecnológicos, mas empresas mais novas desempenham um papel crucial ao refinar e comercializar essas tecnologias para mercados mais amplos, paralelamente ao que vemos hoje na indústria espacial com uma multiplicidade de empresas privadas.

2.4 *New Space* como mudança de paradigma

O movimento denominado *New Space* representa uma inflexão no setor espacial, marcada pela entrada de novos atores privados, pela redução de custos e pela introdução de modelos de negócio mais dinâmicos e arriscados, em contraste com a lógica tradicional do *Old Space*, baseada em grandes contratos estatais e em inovações incrementais conduzidas por instituições consolidadas.

Esta seção explora como a mudança de paradigma se manifesta em diferentes dimensões: a emergência dos foguetes reutilizáveis, que desafiam a lógica do artefato descartável (2.4.1); a disseminação do padrão *CubeSat*, responsável por democratizar o acesso ao espaço e consolidar novas arquiteturas orbitais (2.4.2); e o avanço de sistemas de propulsão híbrida, que oferecem soluções técnicas promissoras em termos de custo, segurança

e flexibilidade (2.4.3). Também serão analisadas as iniciativas voltadas ao lançamento responsivo, que buscam atender demandas militares e civis de revisita rápida e colocação sob demanda de satélites em órbita (2.4.4); a transformação do segmento de solo e do tratamento de dados, cada vez mais central na cadeia de valor espacial (2.4.5); as tendências emergentes e os empreendimentos futuros que delineiam os rumos do setor (2.4.6); e, por fim, as oportunidades que o *New Space* abre para países emergentes, como o Brasil, em um cenário de crescente competição e cooperação internacional (2.4.7).

Dessa forma, a análise das subseções que seguem revela como a lógica do *New Space* reconfigura o paradigma espacial, combinando inovação tecnológica, novos modelos institucionais e impactos econômicos de alcance global.

2.4.1 O foguete reutilizável

A tecnologia de foguetes foi inicialmente concebida no contexto militar, marcada pela visão do veículo como munição descartável. Essa herança cultural influenciou diretamente os critérios de projeto, privilegiando a maximização de desempenho energético em detrimento da redução de custos. Autores como Richards (2015) destacam que essa tradição explica, em grande medida, o elevado custo de acesso ao espaço, sugerindo uma mudança de paradigma no design: priorizar menores custos operacionais, mesmo que à custa de eficiência, por meio da reutilização de componentes, do emprego de métodos industriais simplificados e do uso ampliado de propelente.

Embora o propelente represente menos de 1% do custo total de um lançamento, a reutilização pode reduzir substancialmente os 99% restantes, trazendo ganhos de até uma ordem de magnitude (Bushnell; Moses, 2018; Inatani; Naruo; Yonemoto, 2001). Enxergar o foguete como meio de transporte e não como munição implica maior cadência de lançamentos, menores gastos de tempo e mão de obra, e custos reduzidos.

Nesse sentido, a tendência é clara: simplificação arquitetural, aumento das taxas de produção e adoção de práticas industriais padronizadas são fatores centrais para a diminuição do preço por quilograma em órbita (Jones, 2018). A redução dos custos de lançamento é considerada transformadora para o setor espacial, ao abrir novas oportunidades comerciais e estimular um ambiente competitivo que retroalimenta a inovação (Autry, 2017).

O apoio da NASA ao desenvolvimento da SpaceX exemplifica como políticas públicas podem fomentar mudanças estruturais, impulsionando a difusão da reutilização como elemento estratégico. Autry observa que, em um cenário geopolítico desafiador, foguetes reutilizáveis tornam-se chave para manter capacidades espaciais redundantes e responsivas, consolidando vantagens competitivas no século XXI.

2.4.2 CubeSats

O padrão *CubeSat* foi estabelecido em 1999 como um modelo padronizado de satélites modulares, em que cada unidade (1U) corresponde a um cubo de 10 cm de lado e 1,33 kg (Selva; Krejci, 2012). Por possuírem entre 1 e 10 kg, esses satélites se enquadram na categoria de nanossatélites, subsetor da classe de *smallsats*, definida por satélites com massa inferior a 1.200 kg (FAA, 2018).

Inicialmente concebidos em universidades para fins educacionais e rapidamente adotados por empresas em demonstrações tecnológicas de baixo custo, os *cubesats* tornaram-se um dos principais símbolos do movimento *New Space*. A redução do custo de produção e a padronização da arquitetura impulsionaram sua difusão, permitindo a entrada de novos atores no setor espacial — desde instituições acadêmicas até nações antes distantes dessas atividades.

Com a expansão do interesse, um fator determinante foi a possibilidade de empregar tecnologias COTS (*commercial-off-the-shelf*), associadas ao avanço dos sistemas MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*), que viabilizaram a miniaturização de componentes e o aumento de redundância em satélites de pequeno porte (Grönland *et al.*, 2007).

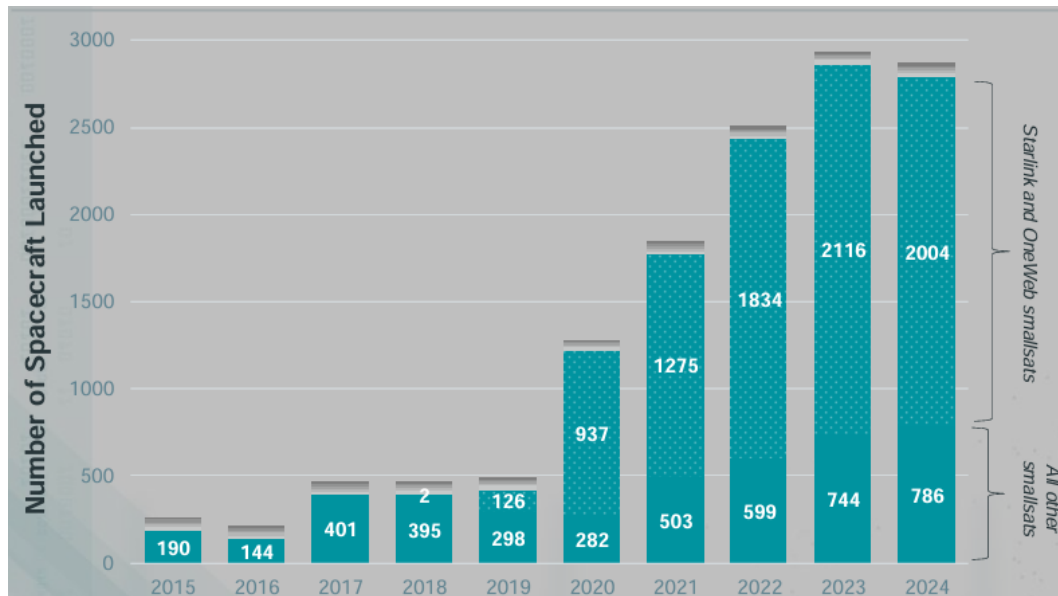
Como resultado, observou-se uma duplicidade de tendências: de um lado, a elevação expressiva do número de lançamentos de *smallsats*, conforme é mostrado pela Figura 2, em mais de 10x comparando 2024 a 2015; de outro, a redução da massa média desses satélites, como evidencia a Figura 3. Essa classe representa 93% dos satélites lançados de 2014 a 2023, destacando-se projetos em larga escala como os de comunicação em órbita baixa (BryceTech, 2024), especificamente devido às constelações Starlink e OneWeb que correspondem a 71,8% do total de *smallsats* lançados em 2024.

O padrão modular mostrou-se suficientemente versátil para atender a uma ampla variedade de missões, desde observação da Terra até telecomunicações e demonstração tecnológica (Lappas; Kostopoulos, 2020). Além dos nanossatélites, também microsatélites (11 a 200 kg) vêm sendo projetados a partir dessa configuração, geralmente com propulsores a gás frio ou elétricos, de acordo com os requisitos menos exigentes de suas missões. O crescimento contínuo do uso de *smallsats* sugere que arquiteturas ainda mais diversas devem se consolidar no futuro próximo.

2.4.3 Sistema de propulsão híbrida

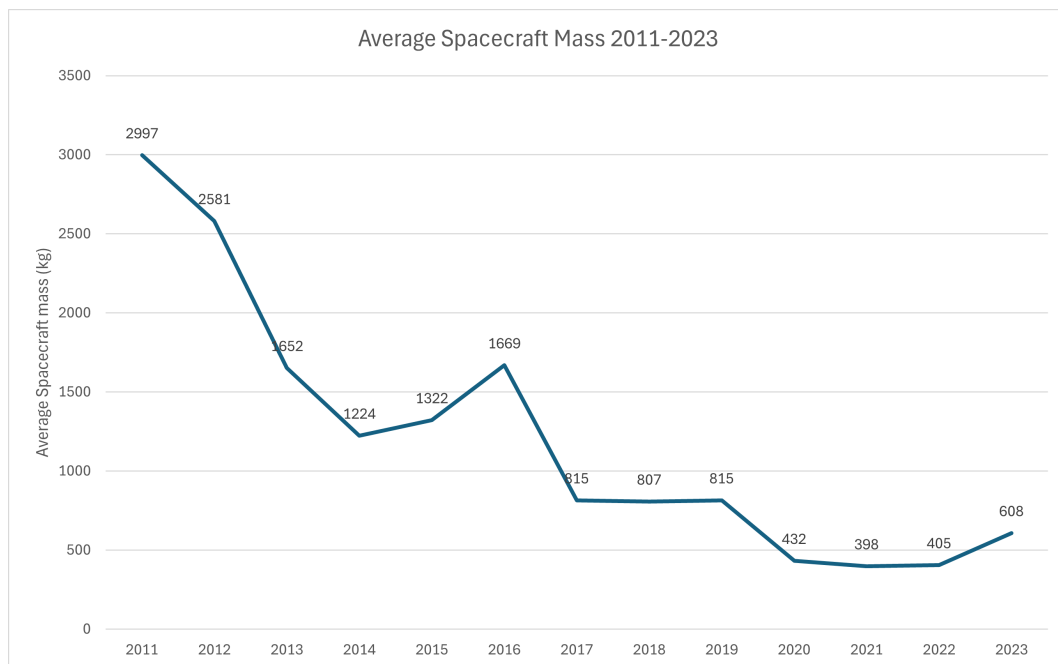
HRE (*Hybrid Rocket Engine*) é a denominação dada a motores que utilizam propelentes em estados distintos, geralmente combustível sólido e oxidante líquido. Os primeiros experimentos datam da década de 1930, na Rússia e Alemanha, até que a *Pacific Rocket Society* alcançasse lançamentos experimentais bem-sucedidos (Altman, 1991). Com o

Figura 2 – Satélites lançados de 2015 a 2024



Fonte: (BryceTech, 2025)

Figura 3 – Massa média dos satélites em órbita de 2011 a 2023



Fonte: (BryceTech, 2022; BryceTech, 2024, compilado pelo autor)

desenvolvimento científico, consolidaram-se como combustíveis sólidos usuais o HTPB, o PMMA e o polietileno (HDPE), enquanto entre os oxidantes destacam-se oxigênio líquido, peróxido de hidrogênio e óxido nitroso (N_2O) líquido (David, 2016).

Os motores híbridos apresentam vantagens específicas quando comparados a sistemas líquidos ou sólidos. Em relação à propulsão sólida, permitem múltiplas ignições;

frente à líquida, possuem design mais simples e menos custoso, com maior viabilidade em ambientes acadêmicos (Toson; Karabeyoglu, 2015). Além disso, afastam-se do uso de monopropelentes tóxicos, o que aumenta a segurança no manuseio e reduz restrições regulatórias.

Embora a propulsão elétrica apresente elevadas velocidades de exaustão, o baixo empuxo limita sua aplicação em manobras que demandam grande Δv , como inserções orbitais (Rafalskyi; Aanesland, 2016), contexto em que os motores híbridos podem oferecer soluções intermediárias. O interesse acadêmico pela tecnologia cresceu nas últimas duas décadas, em parte pela adequação do HRE às demandas do ecossistema *New Space*, que privilegia soluções de menor custo e maior flexibilidade (Okninski *et al.*, 2021).

Apesar das vantagens teóricas e do crescente interesse, a propulsão híbrida permanece restrita a aplicações suborbitais e ensaios tecnológicos. Como observam Sutton e Biblarz (2017), motores híbridos apresentam simplicidade construtiva e segurança superiores, mas ainda não foram empregados com sucesso em lançamentos orbitais. De modo semelhante, Karabeyoglu, Cantwell e Altman (2010) reforçam que a tecnologia continua em estágio experimental, sem registros de veículos orbitais movidos por propulsão híbrida.

Mais recentemente, observa-se o avanço do setor privado. Empresas como a Vaya Space, Gilmour Space Technology e a Hympulse vêm testando motores híbridos em aplicações suborbitais e demonstradores tecnológicos. Contudo, até o momento, nenhum foguete híbrido alcançou com sucesso a órbita terrestre, de modo que a empresa sul-coreana Innospace pode vir a realizar o primeiro voo orbital desse tipo de propulsão. A empresa, que instalou operações no Centro de Lançamento de Alcântara, concluiu a qualificação do segundo estágio do veículo HANBIT-TLV e prevê a estreia orbital para o segundo semestre de 2025 (SPACE&DEF, 2024; INNOSPACE, 2024; PH, 2024).

2.4.4 Lançamento responsivo

A observação da Terra é reconhecida como recurso estratégico, tanto para governos quanto para empresas privadas. O lançamento do satélite brasileiro Amazônia-1, em fevereiro de 2021, destacou a relevância dessa capacidade, ao oferecer monitoramento da floresta amazônica contra a desflorestação (AEB, 2021; INPE, 201-). Contudo, a taxa de revisita de cinco dias limita sua eficácia diante de demandas urgentes, especialmente em regiões tropicais de alta cobertura de nuvens, como a Amazônia (Francini *et al.*, 2020). Nesse contexto, capacidades de rápida revisita e flexibilidade de lançamento tornam-se essenciais.

Inserido no movimento *New Space*, o conceito de lançamento responsivo visa prover acesso ao espaço em poucos dias, com veículos prontos para serem montados e operados de forma ágil. O Desafio de Lançamento DARPA exemplificou essa ambição ao propor a criação de sistemas que pudessem colocar satélites em órbita em prazos reduzidos.

Apesar de não ter sido solucionado ([DARPA, 2020](#)), o desafio evidenciou o interesse do Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*DoD*) em missões rápidas, de curta duração orbital, e com inclinações variadas para aplicações de defesa.

Tais capacidades também são de grande interesse para o Programa Espacial Brasileiro, em especial na vigilância da Amazônia e no combate a atividades ilícitas como mineração ou desmatamento ilegal. O setor privado tem liderado avanços nesse campo. A Planet Labs PBC consolidou-se como referência na oferta de imagens sob demanda, lançando centenas de *cubesats* e atingindo revisitas múltiplas por dia com resolução de até 50 cm por pixel ([BryceTech, 2022](#); [PLANET, 2022](#)). No Brasil, a OPTO Space & Defense vem desenvolvendo cargas úteis optrônicas compactas, como sensores de observação em plataformas de até 6U ([OPTO, 2021](#)).

Mais recentemente, a Rocket Lab tornou-se um exemplo claro da evolução em direção à responsividade. A empresa já demonstrou capacidade de mobilizar seu lançador *Electron* em prazos reduzidos, operando a partir de múltiplos locais de lançamento. Em 2025, foram agendadas missões com foco explícito em prontidão operacional. Como destacou o CEO da empresa, Peter Beck, trata-se de prover um serviço de lançamento “que atenda aos requisitos de missão dos operadores de satélite para colocar seus satélites em órbita quando quiserem, onde quiserem e em curto prazo” ([ROCKET LAB, 2025](#); [SPACEDAILY, 2025](#)). Esse posicionamento evidencia a transição da ideia de responsividade de um conceito em teste para uma realidade comercial, com implicações diretas para segurança nacional e exploração comercial do espaço.

2.4.5 O segmento de solo e tratamento de dados

Ground Segment as a Service (GSaaS) também representa uma mudança de paradigma na indústria espacial, alinhada ao movimento New Space ([Carcaillon; Bancquart, 2020](#)). Tradicionalmente, operadores de satélites precisavam investir pesadamente na construção e manutenção de segmentos terrestres dedicados, o que envolvia altos gastos de capital (CAPEX) e complexidades operacionais.

No entanto, com a expansão do setor espacial, impulsionada pelo aumento de pequenos satélites e constelações, cresceu a demanda por soluções mais ágeis e econômicas. O GSaaS surgiu como uma resposta a essas necessidades, permitindo que operadores terceirizem sua infraestrutura e operações de estações terrestres. Esse modelo se assemelha ao conceito de computação em nuvem, transformando o CAPEX em despesas operacionais (OPEX) e oferecendo aos operadores de satélites acesso sob demanda a estações terrestres, sem a necessidade de investimentos iniciais.

O GSaaS oferece benefícios como flexibilidade, economia e simplicidade. Operadores podem se comunicar com seus satélites por meio de uma rede compartilhada de estações terrestres, permitindo uma entrada mais rápida no mercado e escalabilidade.

Essa flexibilidade é essencial para empresas de New Space, que frequentemente precisam de uma rede global de estações terrestres para atender às demandas de suas missões, sem o ônus de gerenciar sua própria infraestrutura.

À medida que o modelo GSaaS evolui, parcerias estratégicas entre provedores de GSaaS e outros atores da cadeia de valor espacial serão fundamentais para oferecer serviços abrangentes. Espera-se que os provedores ampliem seus serviços além da comunicação por satélite, incluindo soluções completas como processamento e armazenamento de dados, criando um modelo “one-stop-shop” para operadores de satélites. Isso será especialmente importante para operadores que buscam aplicações de baixa latência e serviços de dados em tempo real, os quais exigem uma infraestrutura terrestre robusta e escalável.

O segmento terrestre precisa acompanhar os avanços rápidos do setor espacial, especialmente com o aumento de pequenos satélites, constelações em órbita baixa (LEO) e sistemas multi-órbita. A infraestrutura terrestre tradicional, projetada para satélites em órbita geoestacionária (GEO), enfrenta novos desafios ao precisar dar suporte a satélites que se movem pelo céu em diferentes órbitas. Isso cria a necessidade de sistemas terrestres mais flexíveis e adaptativos, capazes de operar com múltiplas constelações e bandas de frequência ([Waterman, 2021](#)).

A transição para antenas que possam lidar simultaneamente com satélites em GEO, LEO e órbita média (MEO) representa uma das inovações mais críticas nessa transformação. Olhando para o futuro, espera-se que a evolução tecnológica do GSaaS inclua avanços em comunicações ópticas, inteligência artificial (IA) e antenas de painel plano (FPA) ([Carcaillon; Bancquart, 2020](#)). Essas tecnologias prometem aprimorar as capacidades das estações terrestres, oferecendo maiores taxas de dados, maior segurança e gerenciamento mais eficiente da comunicação por satélite.

Por exemplo, as FPAs permitem múltiplas comunicações simultâneas com satélites, sem as limitações mecânicas das antenas tradicionais. Da mesma forma, a IA pode otimizar o gerenciamento de dados, maximizando o uso das antenas e possibilitando o processamento de dados em tempo real. Essas inovações serão cruciais à medida que o número de satélites em órbita continuar a crescer. Empresas que inovam com novas tecnologias ([Waterman, 2021](#)), como as antenas de abertura fragmentada da NXTCOMM e os sistemas de matriz em fase VICTS (Variable Inclination Continuous Transverse Stub) da ThinKom Solutions, buscam melhorar o desempenho e a eficiência. Essas inovações visam reduzir o consumo de energia, baixar custos e expandir a gama de serviços, tornando os sistemas terrestres mais versáteis e capazes de atender às necessidades das constelações de satélites de próxima geração.

Além disso, a virtualização de estações terrestres, permitindo arquiteturas definidas por software, está se tornando um fator-chave para aumentar a flexibilidade, reduzir custos operacionais e automatizar processos tradicionalmente realizados manualmente.

Pacôme Révillon (2019) acredita que o segmento terrestre em comunicações por satélite está passando por uma evolução significativa, impulsionada pela crescente demanda por conectividade, especialmente em mercados emergentes, e pela integração de satélites de alta capacidade e tecnologias 5G.

Ele enfatiza a importância de avanços tecnológicos, como o uso de transmissão em banda Ka², e a necessidade de menor latência, que exigem uma infraestrutura terrestre mais sofisticada. Além disso, destaca o papel das economias de escala, automação e padronização na melhoria da eficiência operacional. Révillon também prevê uma onda de fusões e aquisições na indústria, à medida que as empresas buscam escalar e inovar em resposta à crescente complexidade do mercado. No geral, ele vê um cenário dinâmico, onde implantações estratégicas e integração tecnológica são fundamentais para o futuro do segmento terrestre.

O mercado espacial downstream, que compreende as operações das infraestruturas espaciais e os produtos e serviços “de aplicação terrestre” que dependem diretamente de dados e sinais de satélite, está experimentando um crescimento significativo em estações terrestres, impulsionado pela crescente demanda por serviços de dados e terminais de usuários nos setores de comunicações e Observação da Terra. Já o segmento upstream engloba as atividades científicas e tecnológicas que fundamentam os programas espaciais, como pesquisa, desenvolvimento e manufatura de satélites e lançadores, constituindo a base industrial e de inovação do setor (OECD, 2022). Algumas pesquisas (Euroconsult, 2021) preveem receitas atingindo US\$ 7,5 bilhões até 2030, com o valor de mercado dos terminais de usuário esperado para mais que dobrar. Os principais impulsionadores incluem a demanda crescente por serviços de banda larga para consumidores e serviços móveis, além de inovações como antenas de painel plano e orientáveis eletronicamente. O relatório também aborda oportunidades no mercado de defesa, o impacto da COVID-19 e tendências como a virtualização de estações terrestres para aumentar a flexibilidade e a eficiência de custos.

O crescimento de satélites em LEO e mega-constelações está estimulando novas demandas por infraestrutura de estações terrestres, com a indústria evoluindo por meio de atividades de fusões e aquisições e parcerias estratégicas.

2.4.6 Tendências emergentes e empreendimentos futuros

O futuro do setor espacial está prestes a ser moldado por tecnologias revolucionárias que expandirão as capacidades humanas em órbita e além. A mineração espacial

² A banda Ka (do inglês *K-above*) corresponde aproximadamente às faixas de 27–31 GHz para uplink e 17,7–21,2 GHz para downlink, conforme alocação de espectro da União Internacional de Telecomunicações (UIT). Essa banda permite maiores larguras de banda e taxas de transmissão, sendo utilizada em sistemas de satélite de alto rendimento (*High Throughput Satellites* – HTS) que oferecem comunicações de alta velocidade e antenas de menor porte (Venugopal *et al.*, 2019).

é uma das fronteiras mais promissoras, com um vasto potencial para acessar recursos de asteroides e outros corpos celestes. A extração de materiais como água, hélio-3 e minerais raros poderia viabilizar a manufatura no espaço, abastecer bases lunares com combustível e fornecer recursos valiosos para a Terra ([Henriquet; Sanders; Vidal, 2021](#)).

No entanto, desafios tecnológicos, como o desenvolvimento de equipamentos de mineração eficientes para as condições adversas do espaço, o transporte de materiais extraídos e a criação de processos sustentáveis, permanecem obstáculos significativos. Empresas privadas estão trabalhando no desenvolvimento de tecnologias que podem desbloquear o potencial da mineração espacial, enquanto alguns governos incluíram legislações direcionadas para abordar essa área.

Outra área chave de desenvolvimento é o Gerenciamento de Tráfego Espacial (*Space Traffic Management* - STM) ([Ailor, 2006](#)). À medida que o número de satélites, espaçonaves e detritos em órbita aumenta, o risco de colisões e interferências cresceu dramaticamente. Sistemas de STM são essenciais para garantir o uso seguro e sustentável do espaço, com tecnologias como prevenção autônoma de colisões, rastreamento em tempo real e análises preditivas desempenhando papéis cruciais. Governos e organizações estão trabalhando em marcos regulatórios e soluções tecnológicas para gerenciar o tráfego espacial de forma mais eficaz, o que será essencial à medida que as mega-constelações continuem a se expandir. Isso exigirá não apenas inovação tecnológica, mas também colaboração internacional para garantir que o espaço permaneça acessível e seguro para todos os atores.

A manufatura avançada no espaço ([Rottner; Sage; Ventresca, 2021](#)), como a impressão 3D, oferece possibilidades empolgantes para o futuro da exploração e comercialização espacial. A impressão 3D em microgravidade permite a construção de ferramentas, equipamentos e até estruturas inteiras de espaçonaves no local, reduzindo a necessidade de lançar esses materiais a partir da Terra. As implicações para o New Space são claras, pois a manufatura avançada pode reduzir drasticamente os custos, viabilizar a montagem em órbita e abrir novos caminhos para operações sustentáveis na Lua, em Marte e além, especialmente considerando os avanços em inteligência artificial e robótica ([ESPI, 2023a](#)).

Outra tecnologia emergente é o serviço, montagem e manufatura em órbita (*On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing* - OSAM) ([ESPI, 2023b](#)), que se refere à capacidade de reparar, atualizar ou reabastecer satélites e espaçonaves diretamente no espaço. Essa tecnologia pode estender a vida útil dos satélites, reduzir os detritos espaciais e permitir a construção de grandes estruturas que seriam impossíveis de lançar a partir da Terra.

Olhando mais para o futuro, a agricultura espacial pode desempenhar um papel crucial no suporte a missões de longa duração e na viabilização de habitats permanentes na Lua ou em Marte. O desenvolvimento de sistemas de suporte à vida sustentáveis,

capazes de produzir alimentos no ambiente espacial, é essencial para reduzir a dependência de cadeias de suprimento terrestres. Entre as tecnologias mais promissoras estão a hidropônica, que utiliza soluções nutritivas em água sem a necessidade de solo, e a aeropônica, em que as raízes das plantas são suspensas no ar e periodicamente pulverizadas com névoa rica em nutrientes. Ambas as técnicas apresentam alta eficiência no uso de água e nutrientes, além de oferecerem controle preciso das condições ambientais, características particularmente adequadas para ambientes confinados e de microgravidade (Moffat; Morrow; Wetzel, 2019).

Por fim, os desafios de cibersegurança no espaço estão se tornando cada vez mais relevantes à medida que a infraestrutura espacial se torna mais conectada e dependente de sistemas digitais (ESPI, 2023c). Satélites, estações terrestres e redes de comunicação são vulneráveis a ataques cibernéticos que podem interromper operações críticas, comprometer dados ou até mesmo sequestrar espaçonaves. Desenvolver protocolos robustos de cibersegurança para ativos espaciais é imperativo para garantir a integridade das missões espaciais, especialmente com o aumento do número de atores e ativos em órbita promovido pelo New Space.

Com uma economia espacial mais conectada, proteger a infraestrutura contra ameaças cibernéticas será uma prioridade para governos e empresas privadas.

2.4.7 Inovação e espaço para países emergentes

Considerando o exposto, o setor espacial distingue-se de maneira notável. Hertzfeld (2007) suscita, por exemplo, a questão acerca de uma possível predominância dos interesses comerciais sobre os nacionais no espaço. Devido à natureza dual dos sistemas espaciais e às leis internacionais que tornam os países responsáveis pelas ações de seus cidadãos no espaço, a resposta é que as empresas precisam de supervisão e permissão para operar.

Em alguns governos, como os mais recentes nos Estados Unidos, houve um incentivo ao crescimento do setor privado, enquanto em outros, as políticas protecionistas podem ter resultado em um desenvolvimento mais acelerado do setor espacial de outros países, muitas vezes superando-os tecnologicamente.

Os Estados Unidos não lideram mais em todos os aspectos da atividade espacial, pois agora, após alcance transversal das inovações tecnológicas, qualquer nação com recursos financeiros e vontade pode adquirir um sistema espacial específico, tornando as capacidades espaciais acessíveis globalmente. A política mais eficaz para desenvolver um ecossistema doméstico competitivo de produtos espaciais é aquela que encoraja o investimento em pesquisa e desenvolvimento.

O New Space, termo utilizado para se referir ao período atual do setor espacial,

caracterizado, por exemplo, por maior participação de empresas privadas e acesso democrático ao espaço, pode ser visto como o período de prosperidade de Schumpeter. Inovações tecnológicas foram estabelecidas recentemente e, devido às características intrinsecamente tecnológicas do setor espacial, constantemente novos *players* aparecem nos palcos. Estamos vivendo um período com inúmeras inovações, seguidas por suas imitações, garantindo um período de prosperidade ao setor que, até o momento, não parece ceder.

Os resultados encontrados por [Rementeria \(2022\)](#) corroboram a discussão sobre a evolução do setor espacial em meio à comercialização e às dinâmicas de poder, destacando a complexidade das relações entre atores estatais e empresas privadas em meio à crescente comercialização do espaço. Rementeria observa que, embora haja uma tendência de maior participação de empresas privadas e uma suposta democratização do acesso ao espaço, as estruturas de poder existentes, dominadas por nações historicamente líderes como os Estados Unidos, continuam a desempenhar um papel significativo.

O autor argumenta que, apesar do surgimento de novos atores e inovações tecnológicas, as hierarquias de poder estabelecidas ainda mantêm sua supremacia, com os países incumbentes buscando consolidar sua posição e preservar a ordem vigente no setor espacial. Essa análise sugere que, no curto prazo, a hegemonia dos Estados Unidos e de outras potências espaciais tradicionais não será substancialmente abalada pela entrada de empresas comerciais, indicando a continuidade das estruturas de poder estabelecidas no cenário espacial global.

[Denis et al. \(2020\)](#) analisam as mudanças significativas no setor espacial, destacando a transição do New Space para o Big Space impulsionada por grandes investimentos, novos sistemas e operadores, e uma nova dinâmica de diálogo entre empresas, instituições e nações. A crescente presença de satélites em órbita e o surgimento de novas formas de atividades espaciais estão impulsionando a necessidade de um novo modelo de governança global. A discussão sobre a governança espacial destaca a importância de acordos de alto nível entre as principais nações espaciais, à medida que o setor se expande e novas oportunidades surgem. Além disso, o artigo ressalta a importância da agilidade, mentalidade e capacidade de gerenciar riscos em projetos complexos, enfatizando que, no cenário atual, o tamanho e a idade da empresa são menos relevantes do que sua capacidade de adaptação e colaboração com outros atores comerciais e institucionais.

Essa evolução do setor espacial, com a ascensão de startups e novos operadores, reflete o conceito de destruição criativa de Schumpeter, no qual inovações disruptivas e novos modelos de negócios redefinem constantemente o mercado, desafiando as estruturas tradicionais e impulsionando o progresso econômico.

No contexto de atrair investimentos de potências no setor espacial para países em desenvolvimento, a presença de capital humano qualificado e políticas que incentivem a transferência de tecnologia seriam fundamentais para garantir que investimento direto

estrangeiro (IDE) resulte em benefícios significativos para o crescimento econômico e o desenvolvimento tecnológico desses países. [Borensztein, Gregorio e Lee \(1998\)](#) investigaram o impacto do IDE no crescimento econômico de países em desenvolvimento e descobriram que ele é crucial para a transferência de tecnologia e pode contribuir significativamente para o crescimento econômico, especialmente em países com um nível adequado de capital humano. Os resultados destacam a importância da capacidade de absorção de tecnologia avançada pelo país receptor do IDE.

O modelo proposto por [Kim \(1980\)](#) sobre as etapas de desenvolvimento da tecnologia industrial em países em desenvolvimento fornece uma estrutura valiosa para entender a progressão tecnológica nesses contextos. Ao analisar as fases de Implementação, Assimilação e Melhoria, o modelo de Kim destaca a importância da transferência de tecnologia estrangeira inicialmente, seguida pela capacidade de absorção e adaptação local, culminando na melhoria e inovação contínua. Essa progressão reflete a evolução gradual das capacidades tecnológicas das empresas locais, passando de uma dependência inicial de tecnologias importadas para o desenvolvimento de competências internas e aprimoramento constante.

A aplicação desse modelo em países em desenvolvimento pode ajudar a orientar políticas e estratégias que promovam o crescimento sustentável e a competitividade no cenário global, incentivando investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação para impulsionar o progresso econômico e tecnológico dessas nações.

O desenvolvimento de uma indústria espacial em países em desenvolvimento apresenta um cenário complexo, repleto de oportunidades e desafios. A necessidade de cooperação internacional é fundamental nesse processo, permitindo que esses países combinem suas capacidades tecnológicas existentes com tecnologias estrangeiras. A análise detalhada dos mecanismos disponíveis, a identificação de pontos fortes e fracos, e o compartilhamento de experiências entre países em desenvolvimento são essenciais para superar obstáculos e aproveitar as oportunidades ([Leloglu; Kocaoglan, 2008](#)).

A transferência de tecnologia, a colaboração com instituições internacionais e a formação de parcerias estratégicas são mecanismos-chave para impulsionar o desenvolvimento da indústria espacial nesses países, promovendo não apenas o avanço tecnológico, mas também o crescimento econômico e a inovação em um setor altamente competitivo e dinâmico.

Neste contexto, [Abiodun et al. \(1988\)](#) defendem a necessidade de desenvolvimento de capacidades satelitais autóctonas devido à importância de garantir a autonomia e a sustentabilidade dos países, especialmente os em desenvolvimento, no setor espacial. Ao priorizar a construção de capacidades internas em sensoriamento remoto e tecnologia espacial, os países podem reduzir sua dependência de tecnologias estrangeiras, fortalecer sua expertise científica e tecnológica local e promover o desenvolvimento econômico sus-

tentável.

Além disso, o desenvolvimento de capacidades autóctones no setor espacial permite que os países controlem e personalizem suas operações espaciais de acordo com suas necessidades específicas, garantindo a segurança e a soberania no uso de dados e informações espaciais para benefício nacional. Dessa forma, o artigo acima destaca a importância estratégica e os benefícios a longo prazo do investimento no desenvolvimento de capacidades satelitais autóctonas para o progresso e a independência tecnológica dos países no cenário espacial global.

A escada de tecnologia espacial oferece uma estrutura abrangente para analisar a evolução dos programas espaciais em países em desenvolvimento, incluindo importantes insights sobre a progressão de marcos tecnológicos nacionais (Wood; Weigel, 2012). Ao mapear os avanços históricos de países como Brasil, Índia e Nigéria nessa escada, é possível compreender as decisões estratégicas tomadas por essas nações ao longo do tempo. Os resultados da pesquisa destacam a importância da construção de capacidades tecnológicas locais, da tomada de decisões políticas estratégicas e do desenvolvimento de modelos de aquisição de tecnologia para o avanço dos programas espaciais. Essas descobertas não apenas enriquecem o entendimento da evolução dos programas de satélites em países em desenvolvimento, mas também fornecem insights valiosos para orientar futuras políticas e estratégias no setor espacial.

Uma escada de tecnologia espacial modificada em relação à escada de Wood e Weigel foi pensada, introduzindo uma escala de 14 níveis entre o estabelecimento do primeiro Escritório Espacial Governamental e a capacidade de lançamento em órbita geoestacionária (Dallamuta; Perondi; Oliveira, 2023). Essa adaptação da escada original busca incorporar missões menores, como CubeSats e Nanosatélites, refletindo a diversidade e complexidade crescente das atividades espaciais contemporâneas, assim como alterar a ordem de alguns passos da escada original por interpretarem diferentemente os níveis de importância para o desenvolvimento de um programa espacial nacional.

Os resultados desta pesquisa sobre a evolução dos programas de satélites em países da América do Sul revelam uma trajetória heterogênea, com países como Argentina e Brasil demonstrando capacidades avançadas no ciclo completo de sistemas espaciais, enquanto outros países da região focam em atividades de observação terrestre e comunicações por meio de satélites adquiridos de fornecedores externos. Essa diferenciação na evolução dos programas de satélites destaca a diversidade de abordagens e capacidades tecnológicas presentes na região sul-americana.

Um estudo aborda a iniciativa de estabelecer atividades espaciais em nações não espaciais, destacando o programa BIRDS e o projeto de planejamento estratégico espacial. O programa BIRDS (*Joint Global Multi-Nation Birds Satellite*) é uma iniciativa do *Kyushu Institute of Technology* que visa capacitar jovens profissionais de diversos países

não espaciais a desenvolverem, lançarem e operarem satélites (Faure; Cho; Maeda, 2018). O programa envolve a participação de estudantes de países não-espaciais, proporcionando-lhes a oportunidade de adquirir experiência prática em atividades espaciais e promovendo a cooperação internacional no campo da tecnologia espacial.

Os resultados revelam o envolvimento de jovens profissionais de Bangladesh, Gana, Mongólia e Butão, visando alcançar metas espaciais específicas em seus países. As conclusões ressaltam a importância da diversidade de perspectivas e habilidades adquiridas por meio dessas atividades, preparando os profissionais para carreiras multidisciplinares no setor espacial.

Essa abordagem universitária demonstra que não há uma fórmula única para o estabelecimento de atividades espaciais sustentáveis em nações não espaciais, destacando a necessidade de identificar paixões, envolver stakeholders, compreender necessidades e superar limitações. Essa experiência pode ser crucial para países emergentes desenvolverem seus próprios programas espaciais, capacitando uma nova geração de profissionais e impulsionando a inovação e o progresso tecnológico em escala nacional.

3 Fomento à inovação e o papel do Estado

A reflexão sobre o papel do Estado e da organização econômica na promoção da inovação remonta às origens do pensamento econômico moderno. Em *The Wealth of Nations*, publicado originalmente em 1776, Adam Smith apresenta no Livro I, Capítulo I, o princípio da divisão do trabalho como motor da produtividade, com o célebre exemplo da manufatura de alfinetes, demonstrando como a especialização de tarefas não apenas multiplica a produção, mas também cria condições para que trabalhadores, ao se concentrarem em uma atividade específica, desenvolvam engenhos e máquinas que aprimoram ainda mais o processo produtivo (Smith, 2003, p. 9). A inovação, nesse sentido, é compreendida como um desdobramento natural da divisão de tarefas e da engenhosidade humana voltada para simplificar ou aperfeiçoar operações repetitivas. No Livro I, Capítulo III, Smith também argumenta que a extensão do mercado limita e orienta essa divisão do trabalho, evidenciando a importância da demanda como motor do progresso econômico (Smith, 2003, p. 27). Essa noção permite, em uma leitura contemporânea, relacionar o papel do mercado e da demanda com a função do Estado como criador de demanda específica por inovação — ideia que será retomada na seção 3.3, ao se discutir as compras públicas e a encomenda tecnológica como instrumentos de estímulo à inovação.

No Livro V, Capítulo I, Parte III, Smith reconhece a necessidade de atuação estatal na provisão de obras públicas, indispensáveis ao progresso da sociedade por facilitarem o comércio em geral e setores particulares dele. Estradas, pontes e portos são citados como exemplos de infraestrutura que, embora pouco lucrativos para a iniciativa privada, eram cruciais para expandir a atividade econômica (Smith, 2003, p. 916). Ainda que em 1776 o setor espacial estivesse completamente fora da imaginação, a lógica smithiana continua válida: se naquele tempo o Estado devia prover infraestrutura de transporte e comunicação terrestre, hoje pode ser ainda mais ousado ao estimular a economia espacial, apoiando as bases para o comércio derivado das atividades de lançamento, navegação e observação. Assim, o papel estatal como promotor de infraestrutura e de novas fronteiras econômicas permanece central, mesmo diante de desafios tecnológicos que Smith jamais poderia ter previsto.

A partir dessas raízes clássicas, este capítulo examina a evolução do papel do Estado no fomento à inovação sob diferentes perspectivas analíticas. A seção 3.1 apresenta a consolidação do conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) e discute, em diálogo com autores como Nelson, Freeman, Mazzucato e Kelton, de que maneira o Estado, ao assumir riscos e moldar mercados, influencia diretamente as trajetórias tecnológicas. Em seguida, a seção 3.2 aborda a experiência brasileira, destacando como as políticas públicas, a criação de instituições e a definição de marcos legais moldaram o percurso nacional em

ciência, tecnologia e inovação, revelando tanto avanços quanto entraves. Por fim, a seção 3.3 retoma a intuição smithiana de que a demanda é motor da inovação, mostrando como o Estado, por meio de seu poder de compra e do uso de instrumentos como a encomenda tecnológica, pode assumir o papel de demandante estratégico em setores de alta complexidade e risco, como o espacial, ampliando o alcance de sua ação para além da provisão de infraestrutura e contribuindo ativamente para a abertura de novas fronteiras econômicas.

3.1 O Sistema Nacional de Inovação e o Papel do Estado

O conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI) consolidou-se a partir das contribuições de Richard Nelson, que em sua obra *National Innovation Systems: a comparative analysis*, publicada em 1993, analisou em perspectiva comparativa a dinâmica da inovação em diversos países (Nelson, 1993). Para Nelson, a ciência desempenha tanto o papel de líder quanto de seguidora: em alguns casos, a pesquisa acadêmica antecipa demandas e abre fronteiras tecnológicas, enquanto em outros responde a desafios colocados pela indústria e pelo mercado. Em ambos os sentidos, a pesquisa científica é considerada um contribuinte essencial ao avanço tecnológico, cuja característica marcante é seu caráter cumulativo. O progresso inovativo resulta, portanto, da interação contínua entre universidades, laboratórios e empresas, articulados em redes nacionais que sustentam trajetórias tecnológicas de longo prazo.

No capítulo retrospectivo de sua obra, Nelson destaca conclusões fundamentais que permanecem atuais. Em primeiro lugar, a competitividade internacional depende da capacidade de manter processos de inovação contínuos e não esporádicos. Em segundo lugar, as empresas de países inovadores compartilham certas características comuns que derivam de aspectos estruturais de seus contextos nacionais: (i) sistemas educacionais e de treinamento adequados, que fornecem profissionais com as habilidades necessárias e um olhar voltado para a indústria; (ii) pacotes consistentes de políticas fiscais, monetárias e comerciais que criam incentivos para o investimento privado em inovação; e (iii) políticas públicas explícitas para estimular o avanço tecnológico, incluindo aquelas que reforçam a cooperação entre universidades, institutos governamentais e a indústria. Para Nelson, a pesquisa e desenvolvimento militar constitui a principal parcela do financiamento estatal para a P&D industrial, o que guarda evidente proximidade com o programa espacial, igualmente caracterizado por altos custos, elevada incerteza e relevância estratégica. Por isso, embora os países estudados apresentem diferenças quanto ao detalhamento de suas políticas, as duas variáveis fundamentais que distinguem seu desempenho inovativo são a qualidade de seus sistemas educacionais e a coerência das políticas governamentais. Em torno delas se organiza uma diversidade de estratégias nacionais que, em maior ou menor medida, apoiam a inovação industrial e moldam a posição competitiva dos países

no cenário global.

Sob essa ótica, o trabalho de Chris [Freeman \(1995\)](#) sobre os sistemas nacionais de inovação complementa a análise de Nelson, ao enfatizar os componentes-chave de tal sistema, que incluem as redes de relações entre empresas, universidades, instituições de pesquisa e agências governamentais. Esses componentes são influenciados por instituições nacionais, políticas e fatores culturais que moldam como a inovação ocorre dentro de um país. O papel do Estado é particularmente significativo, pois pode criar um ambiente propício à inovação por meio de investimentos em educação, infraestrutura e pesquisa e desenvolvimento (P&D). O Estado também pode facilitar a colaboração entre diferentes partes interessadas e fornecer marcos regulatórios que incentivem a inovação, ao mesmo tempo em que garantem o bem-estar público.

Relacionando os insights de Freeman ao setor espacial, podemos observar que o sistema nacional de inovação desempenha um papel crucial no desenvolvimento de tecnologias e capacidades espaciais. Os governos frequentemente assumem um papel proativo no setor espacial ao financiar pesquisas, estabelecer agências espaciais e fomentar parcerias entre entidades públicas e privadas. Por exemplo, a Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço dos EUA (NASA) historicamente impulsionou a inovação na exploração espacial por meio de suas iniciativas de P&D, enquanto colabora com empresas privadas para aprimorar os avanços tecnológicos. Essa colaboração exemplifica como um sistema nacional robusto de inovação, apoiado pela participação do Estado, pode levar a avanços significativos em ciência e tecnologia, especialmente em campos de alta relevância como a exploração espacial. Assim, o framework de Freeman pode ser aplicado para compreender como a interação entre políticas estatais e redes de inovação molda a trajetória do setor espacial, impulsionando avanços que têm implicações de longo alcance tanto para interesses nacionais quanto globais.

O conceito de "Estado Empreendedor", desenvolvido por Mariana [Mazzucato \(2011\)](#), oferece uma perspectiva diferente sobre o papel do Estado na dinâmica econômica. Em contraposição à visão tradicional do Estado como um regulador passivo e corretor de falhas de mercado, Mazzucato argumenta que o Estado desempenha um papel ativo e fundamental como um agente empreendedor, especialmente na promoção da inovação e no impulso ao desenvolvimento econômico.

Central para o entendimento proposto por Mazzucato é a ideia de que o Estado não teme assumir riscos significativos. Contrariando a abordagem mais conservadora, ela destaca a importância de o Estado se envolver em áreas de pesquisa de longo prazo e projetos de alto risco. Esse envolvimento não se limita ao financiamento; ela defende a participação direta do Estado na concepção e execução de projetos inovadores.

A colaboração público-privada é outro ponto-chave na visão de Mazzucato. Ela enfatiza que o Estado, ao desempenhar um papel mais ativo na promoção da inovação,

pode estabelecer parcerias estratégicas com empresas privadas. Essa colaboração pode acelerar o desenvolvimento e a comercialização de novas tecnologias, aproveitando as forças e recursos de ambos os setores.

A autora também destaca a necessidade de o Estado garantir não apenas a criação de valor econômico, mas também sua distribuição justa e equitativa. O objetivo é assegurar que os benefícios da inovação não se concentrem nas mãos de poucos, mas se traduzam em melhorias sociais mais amplas, criando um impacto positivo em toda a sociedade.

Mazzucato fundamenta suas ideias em exemplos práticos de sucesso, como o investimento do governo dos EUA no desenvolvimento da internet e a criação da agência DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), que desempenhou um papel crucial em avanços tecnológicos fundamentais. Além disso, destaca o papel proativo do Estado na definição de "missões" ambiciosas, que guiam o desenvolvimento tecnológico e abordam desafios complexos, como a mudança climática.

Em síntese, o conceito de Estado Empreendedor de Mariana Mazzucato desafia paradigmas estabelecidos, sugerindo que o Estado não só pode como deve desempenhar um papel mais ativo na promoção da inovação, direcionando o desenvolvimento econômico para atingir objetivos sociais e econômicos mais amplos.

Em contraposição, [Mingardi \(2015\)](#) confronta as ideias de Mazzucato. Ele questiona a intencionalidade por trás da invenção da Internet pelo governo americano, por exemplo. Ele não nega que a DARPA desempenhou um papel no desenvolvimento da Internet, mas questiona se o governo americano imaginou algo semelhante ao que acabou sendo a Internet comercial. Ele argumenta que a afirmação de Mazzucato de que o governo criou intencionalmente a Internet não é sustentada por evidências e que não está claro se o envolvimento do governo no desenvolvimento da Internet visava impulsionar a inovação ou era simplesmente um subproduto de outras iniciativas governamentais. Questiona-se se o desenvolvimento inovador provém de um direcionamento orientado do governo ou se é meramente uma externalidade positiva da intervenção pública. Uma comparação do crescimento econômico do Japão perante o da União Soviética é utilizada para atacar os argumentos de Mazzucato.

Embora seja inegável o papel relevante do Estado no processo de inovação, é necessário cautela ao se interpretar as proposições de Mazzucato. Mingardi, em sintonia com Schumpeter, explana que não há inovação graças apenas às atitudes do governo. O progresso tecnológico e o desenvolvimento econômico ocorrem quando determinada inovação atende aos interesses da sociedade consumidora, que passa a gerar demanda por ela, uma dinâmica que é, em grande medida, desconsiderada por Mazzucato. Em sua conclusão, Mingardi faz uma crítica à Corrida Espacial entre Estados Unidos e União Soviética, que há de ser discordada, pois indica não terem sido percebidos os benefícios socioeconômicos deste empreendimento a longo prazo.

Keinert (2000), em sua abordagem sobre a Administração Pública, destaca a importância da dinâmica de mudança e consenso no campo do conhecimento em Administração Pública no Brasil. Ela discute a existência de paradigmas norteadores dos estudos nesse campo, especialmente relacionados à noção de público e ao papel do Estado. Ao considerar a evolução do conceito de público, que passa de uma visão restrita ao estatal para uma abordagem mais ampla envolvendo a participação da sociedade na definição e gestão das políticas públicas, Keinert demonstra uma perspectiva que converge com o Estado Empreendedor proposto por Mazzucato. Ambas as autoras ressaltam a importância do Estado em assumir um papel ativo na promoção do desenvolvimento econômico e social, seja por meio da inovação e parcerias estratégicas (Mazzucato) ou pela evolução do conceito de público para incluir a sociedade como parte ativa na gestão pública (Keinert). Essa convergência sugere a relevância de uma atuação mais proativa e colaborativa do Estado, tanto na promoção da inovação quanto na busca por uma distribuição justa e equitativa dos benefícios gerados.

Os impactos socioeconômicos do investimento do Estado no setor espacial, especificamente no contexto dos lançadores europeus, refletem a abordagem do "Estado Empreendedor" proposta por Mariana Mazzucato. Ao analisar o papel ativo e fundamental do Estado como agente empreendedor na promoção da inovação e no impulso ao desenvolvimento econômico, podemos observar como os investimentos governamentais no setor espacial têm gerado benefícios significativos para a sociedade e a economia. Assim como Mazzucato destaca a importância de o Estado assumir riscos significativos em áreas de pesquisa de longo prazo e projetos de alto risco, os investimentos no setor de lançadores europeus representam um exemplo concreto desse tipo de abordagem. O Estado, por meio de agências espaciais como a ESA, tem desempenhado um papel crucial no financiamento e na execução de projetos inovadores, como o desenvolvimento e operação dos lançadores Ariane 5 e Vega (Monte; Scatteia, 2017). Nota-se que desde 2024 está em operação o lançador de nova geração, Ariane 6, responsável por manter a capacidade de acesso ao espaço da Europa (Arianespace, 2025).

Ademais, a colaboração público-privada no setor espacial, especialmente no contexto dos lançadores europeus, ilustra a ênfase de Mazzucato na importância das parcerias estratégicas entre o Estado e empresas privadas. A atuação conjunta na promoção da inovação e no desenvolvimento de tecnologias avançadas demonstra como a combinação de recursos e conhecimentos de ambos os setores pode acelerar o progresso e impulsionar a competitividade no mercado espacial. Em suma, a atuação governamental no setor de lançadores europeus se alinha com a perspectiva do "Estado Empreendedor" ao demonstrar como o Estado pode impulsionar a inovação, promover o desenvolvimento econômico e estabelecer parcerias estratégicas para alcançar objetivos sociais e econômicos mais amplos. A análise dos impactos socioeconômicos desses investimentos destaca a importância de uma atuação proativa e colaborativa do Estado na busca por uma distribuição justa e

equitativa dos benefícios gerados pelo setor espacial.

Na análise de Eric [Hobsbawm \(2010\)](#), particularmente no contexto da revolução tecnológica, o Estado desempenhou um papel crucial como o único ou principal cliente em indústrias como a de armamentos, criando um oligopólio no período que antecedeu a Primeira Guerra Mundial. O governo era frequentemente a única entidade com os recursos e o interesse de longo prazo necessários para impulsionar avanços tecnológicos em grande escala, especialmente no complexo militar-industrial.

Essa dinâmica mais tarde se aplicou não apenas aos armamentos tradicionais, mas também a áreas emergentes como a tecnologia de foguetes e o setor espacial, especialmente durante a Guerra Fria, sendo impulsionadas por iniciativas e investimentos liderados pelo Estado. Governos, particularmente os dos Estados Unidos e da União Soviética, foram os principais agentes, controlando a pesquisa, o desenvolvimento e a implementação de tecnologias espaciais. A corrida espacial entre essas duas superpotências exemplifica o papel do Estado como o principal cliente e financiador da exploração espacial. Durante esse período, a indústria privada desempenhou um papel mínimo, uma vez que a escala e o custo desses empreendimentos estavam além das capacidades de qualquer empresa. Essa relação reflete o que Hobsbawm descreve na indústria de armamentos, onde o Estado atuava tanto como regulador quanto como consumidor, impulsionando a inovação para atender a seus objetivos estratégicos e de defesa.

Relacionando essa perspectiva ao conceito do "Estado Empreendedor" de Mazzucato, vemos que a significativa participação estatal na exploração espacial durante o período do "Old Space" é um exemplo claro de como os governos podem liderar avanços tecnológicos em áreas de alto risco e alto retorno. Por meio de agências como a NASA e departamentos de defesa, os Estados assumiram os riscos financeiros e estratégicos associados ao desenvolvimento de novas tecnologias, desde foguetes até satélites. Isso está alinhado ao argumento de Mazzucato de que o Estado não apenas financia, mas também participa ativamente e molda a direção da inovação, especialmente quando o capital privado é incapaz ou não está disposto a assumir esses riscos.

A reflexão mais recente de Mariana [Mazzucato \(2021\)](#), em *Mission Economy: A moonshot guide to changing capitalism*, aprofunda e atualiza o conceito de Estado Empreendedor ao defendê-lo como ator fundamental na reorientação do capitalismo contemporâneo. Tomando como inspiração o Programa Apollo, a autora argumenta que a clareza de propósito e a definição de missões ousadas foram elementos centrais para catalisar inovações de amplo espectro, cujos efeitos extrapolaram o setor espacial e se disseminaram por múltiplas áreas da economia e da sociedade. Nesse processo, o poder de compra governamental foi determinante para mobilizar universidades, empresas e centros de pesquisa, viabilizando avanços que iam desde a miniaturização de componentes eletrônicos até o desenvolvimento de novos métodos de gestão de projetos em larga escala.

Mazzucato destaca que o capitalismo contemporâneo atravessa uma crise marcada pela financeirização, pelo curto-prazismo empresarial, pela emergência climática e pela lentidão dos governos em assumir papéis ativos. A autora critica a visão limitada de que os Estados seriam apenas reguladores reativos ou corretores de falhas de mercado, defendendo que o poder público deve moldar mercados em direção a objetivos de interesse coletivo. Para tanto, é necessário que políticas públicas incorporem instrumentos que criem direcionalidade, como subvenções, empréstimos e, especialmente, compras públicas estratégicas, e que estabeleçam métricas claras de partilha de riscos e recompensas entre o setor público e privado. Essa lógica desafia a concepção tradicional segundo a qual a criação de valor se dá exclusivamente nas empresas, reconhecendo que o investimento público, sobretudo em áreas de alta incerteza tecnológica, é indispensável para sustentar trajetórias inovadoras de longo prazo.

A autora também desmonta mitos persistentes na teoria econômica e na prática das políticas públicas, como a ideia de que governos não devem “escolher vencedores”, de que devem atuar “como empresas” ou de que a terceirização generalizada melhora a eficiência do gasto público. Em contraposição, ela argumenta que projetos ambiciosos e incertos, como aqueles associados à mudança climática ou à transição energética, exigem Estados capazes de assumir riscos, coordenar esforços e estruturar parcerias que deem direção à inovação. A experiência asiática, com países como Coreia do Sul, Taiwan e Singapura, é evocada para mostrar como políticas industriais ativas, com forte coordenação estatal, permitiram orientar investimentos privados para setores estratégicos.

Na segunda parte do livro, Mazzucato apresenta um “guia de missão” baseado nas lições do Programa Apollo, no qual o governo norte-americano mobilizou cerca de 4% do orçamento federal e envolveu mais de 400 mil pessoas entre cientistas, engenheiros, universidades e empresas contratadas. Os atributos centrais desse modelo foram a visão orientada por propósito, a disposição para assumir riscos, a flexibilidade organizacional e a formação de parcerias dinâmicas entre o setor público e privado. Além dos resultados óbvios da corrida espacial, os chamados *spillovers* tecnológicos incluíram avanços em sistemas de navegação inercial, circuitos integrados, software, telecomunicações, materiais e biomedicina, demonstrando o poder transformador das missões orientadas pelo Estado.

Por fim, a autora propõe princípios para uma nova economia política de base missionária, que inclui: (i) reconhecer que o valor é criado coletivamente, exigindo a distribuição justa dos frutos da inovação; (ii) adotar uma perspectiva de mercados moldados por políticas de longo prazo e não meramente corrigidos por intervenções pontuais; (iii) fortalecer as capacidades dinâmicas das organizações públicas, dotando-as de flexibilidade, liderança e competência técnica; (iv) desenvolver mecanismos de financiamento baseados em resultados, com horizonte de longo prazo; (v) assegurar que riscos e recompensas sejam compartilhados de maneira simétrica; (vi) estruturar parcerias voltadas ao propósito comum e não apenas ao lucro imediato; e (vii) garantir a participação cidadã no processo

de definição e acompanhamento das missões. Tais diretrizes indicam que o Estado, ao assumir uma postura proativa e estratégica, pode não apenas fomentar inovação, mas também direcioná-la para enfrentar desafios sociais e ambientais de grande escala.

Ao relacionar essas ideias com o setor espacial, percebe-se a força do argumento da autora: missões ousadas, quando dotadas de clareza de propósito e suporte institucional, têm capacidade de mobilizar ecossistemas inteiros de inovação, criando trajetórias cumulativas de avanço tecnológico e social. Essa perspectiva reforça a centralidade do Estado como agente empreendedor e como coordenador de parcerias estratégicas, consolidando o entendimento de que a inovação não é produto exclusivo da iniciativa privada, mas resultado de processos coletivos orientados por objetivos públicos de longo alcance.

A perspectiva da Teoria Monetária Moderna (MMT), apresentada por Stephanie Kelton (2020), introduz uma mudança paradigmática na compreensão do papel fiscal do Estado. A autora argumenta que, em países com soberania monetária, ou seja, emissores de sua própria moeda fiduciária, não há a mesma restrição orçamentária imposta a famílias ou empresas. O déficit público, longe de representar uma ameaça imediata, pode ser compreendido como um instrumento necessário para equilibrar a economia, desde que respeitados os limites reais da capacidade produtiva e da inflação. Assim, a pergunta central não deveria ser "como pagar?", mas "como mobilizar os recursos disponíveis para atender às necessidades sociais e econômicas?".

Essa visão aproxima-se das teses de Mazzucato, ao enfatizar que o Estado não deve se limitar a corrigir falhas de mercado, mas assumir riscos e investir em projetos estratégicos de longo prazo. A soberania monetária, na perspectiva da MMT, confere ao Estado a possibilidade de financiar diretamente atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), infraestrutura e transições tecnológicas. O poder de emissão monetária, quando combinado a políticas orientadas por missões e a instrumentos de compras públicas estratégicas, torna-se uma alavanca poderosa para impulsionar inovação e transformação estrutural. Nesse sentido, a política fiscal deixa de ser apenas uma ferramenta de estabilização macroeconômica e passa a constituir um mecanismo de indução ativa de trajetórias tecnológicas e de desenvolvimento, em consonância com os objetivos de inovação e competitividade nacional.

Em síntese, a literatura sobre sistemas nacionais de inovação, desde Nelson e Freeman até as formulações contemporâneas de Mazzucato e Kelton, evidencia que o Estado possui um papel insubstituível na indução do desenvolvimento tecnológico. Seja pela criação de ambientes institucionais favoráveis, pela assunção de riscos em projetos de longo prazo ou pela utilização de instrumentos fiscais e monetários, o poder público revela-se um ator central na configuração das trajetórias inovativas. Entretanto, a forma como esse papel se concretiza varia de acordo com a história, as instituições e as prioridades de cada país. No caso brasileiro, compreender como essas ideias se traduziram em políticas,

marcos legais e iniciativas de fomento à ciência, tecnologia e inovação é fundamental para avaliar os avanços e as limitações do Sistema Nacional de Inovação. Essa análise constitui o objeto da próxima seção.

3.2 Inovação no Brasil

A análise de Carl Dahlman e Cláudio Frischtak, no capítulo dedicado ao Brasil em [Nelson \(1993\)](#), revela como a experiência brasileira de formação de um sistema nacional de inovação apresenta tanto avanços quanto limitações. Embora o país tenha consolidado, ainda na década de 1980, uma base industrial diversificada e uma expressiva rede de instituições públicas de pesquisa, a articulação entre ciência, tecnologia e setor produtivo mostrou-se insuficiente. Aproximadamente 80 a 90% dos dispêndios em P&D eram realizados pelo setor público, mas a dispersão dos esforços e a fraca conexão entre institutos de pesquisa e empresas reduziram a efetividade do sistema. Ao mesmo tempo, políticas de substituição de importações e restrições ao investimento estrangeiro limitaram o acesso às tecnologias de ponta, enquanto a indústria nacional pouco investia em atividades próprias de pesquisa e desenvolvimento.

Esse diagnóstico evidencia que, diferentemente de economias asiáticas de industrialização recente, que conseguiram alinhar educação, política industrial e estratégia tecnológica, o Brasil estruturou um sistema em que o Estado arcava com a maior parte do risco inovativo, mas sem obter resultados proporcionais em termos de competitividade internacional. Para Nelson, a experiência brasileira ilustra a importância de fatores como a qualidade do sistema educacional, a eficiência administrativa das empresas e a coerência das políticas governamentais na determinação do desempenho inovativo nacional. A partir dessa base histórica, pode-se compreender os desafios persistentes e as tentativas de aprimoramento do sistema nacional de inovação, que serão discutidos a seguir.

A trajetória da inovação no Brasil revela um percurso marcado por avanços institucionais e limitações estruturais que condicionaram a forma como ciência e tecnologia se articularam com o setor produtivo. Desde meados do século XX, o país enfrentou o desafio da diversificação industrial, reconhecendo que a dependência de produtos primários impunha barreiras ao desenvolvimento sustentado. Nesse contexto, o Estado brasileiro assumiu papel central no fomento à ciência e tecnologia (C&T), criando instrumentos legais de proteção à propriedade industrial e instituições de apoio à pesquisa. Destaca-se, nesse movimento, a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em 1951, motivada em grande parte pela percepção estratégica do papel da C&T em conflitos bélicos e consagrada pela chamada “Lei Áurea da Pesquisa”. Complementarmente, foram instituídos o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) e, posteriormente, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que buscavam conferir maior estabilidade ao financiamento de projetos científicos e tecnológicos

(Suzigan *et al.*, 2011).

Todavia, a política industrial brasileira mostrou, por longo período, inclinação a incentivar a importação de tecnologias estrangeiras, em detrimento da promoção do desenvolvimento tecnológico doméstico. Esse direcionamento resultou em uma frágil integração entre o sistema científico nacional e as demandas produtivas, pois enquanto recursos públicos eram canalizados majoritariamente para a pesquisa acadêmica, observava-se baixa propensão do setor privado em investir em inovação tecnológica (Suzigan *et al.*, 2011). Nesse ambiente, consolidou-se uma cultura em que o pesquisador era avaliado prioritariamente pela publicação de artigos científicos, e não pela capacidade de transformar resultados em produtos e processos para a indústria, reforçando a distância entre universidades, institutos de pesquisa e empresas.

A promulgação da Lei n.º 10.973/2004 (BRASIL, 2004), conhecida como Lei de Inovação, representou um marco no esforço de reverter essa lógica. Ao introduzir mecanismos que incentivavam a interação entre instituições científicas e tecnológicas (ICTs) e o setor produtivo, a legislação estabeleceu as bases para a criação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs). Esses núcleos passaram a atuar como mediadores da transferência de conhecimento, buscando alinhar as competências científicas ao desenvolvimento de inovações aplicadas. Em complemento, a Lei do Bem (Lei n.º 11.196/2005 (BRASIL, 2005)) introduziu incentivos fiscais às empresas inovadoras, enquanto o Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Emenda Constitucional n. 85 de 2015 (BRASIL, 2015), Lei n.º 13.243/2016 (BRASIL, 2016) e Decreto n. 9.283 de 2018 (BRASIL, 2018)) ampliou as possibilidades de parcerias público-privadas no campo da inovação. Mais recentemente, a Lei Complementar n.º 182/2021, conhecida como Lei das Startups (BRASIL, 2021b), reafirmou o protagonismo das ICTs como catalisadoras de ambientes de inovação e empreendimentos tecnológicos (MCTI, 2024).

O percurso histórico evidencia que, apesar das fragilidades de integração entre ciência e indústria, houve avanços relevantes na institucionalização da inovação como política de Estado. Exemplo emblemático é o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), cuja trajetória demonstra como a clareza estratégica e o apoio consistente do Estado brasileiro podem resultar em iniciativas de excelência internacional. O CNPEM ilustra que a articulação entre investimentos públicos, gestão eficiente e objetivos bem definidos constitui fator decisivo para o sucesso em ciência, tecnologia e inovação no país.

A Lei n.º 10.973/2004 foi um marco inicial ao estabelecer mecanismos de aproximação entre ICTs e empresas privadas. Entre seus instrumentos destacaram-se a possibilidade de compartilhamento de laboratórios, a prestação de serviços tecnológicos por instituições públicas e a criação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs). Contudo, como observa Rauen (2016), a norma não foi suficiente para modificar a dinâmica da pesquisa no Brasil,

pois os incentivos previstos foram pouco utilizados e o sistema de avaliação acadêmico manteve-se fortemente baseado na quantidade de publicações, em detrimento de resultados aplicáveis à indústria. Além disso, os NITs, embora formalmente criados, não possuíam personalidade jurídica própria, o que limitava sua capacidade de ação e sua autonomia financeira.

A percepção das limitações da Lei de 2004 levou à tramitação do Projeto de Lei nº 2.177/2011 e, posteriormente, à aprovação da Emenda Constitucional nº 85/2015, que conferiu nova ênfase à ciência, tecnologia e inovação como elementos estratégicos do desenvolvimento nacional. Em seguida, foi promulgada a Lei nº 13.243/2016, o chamado Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (MLCTI). Segundo [Rocha \(2019\)](#), essa legislação trouxe importantes avanços ao integrar e alterar dispositivos de mais de dez normas diferentes, ampliando o conceito de ICTs para incluir entidades privadas sem fins lucrativos, fortalecendo o papel das fundações de apoio na gestão de recursos e formalizando as bolsas de estímulo à inovação. Apesar desses progressos, apontava-se ainda a permanência de gargalos como a insegurança jurídica, a dificuldade de contratação de pesquisadores e o baixo uso prático dos NITs ([Rauen, 2016](#)).

O Decreto nº 9.283/2018 buscou enfrentar parte dessas críticas, regulamentando pontos centrais do MLCTI e trazendo maior clareza jurídica às relações entre universidades, empresas e governo. Como destaca análise feita pela [ABGI \(2018\)](#), o decreto representou um avanço significativo ao permitir que os NITs fossem constituídos como pessoas jurídicas de direito privado sem fins lucrativos, assegurando-lhes maior autonomia administrativa e financeira. Além disso, previu mecanismos para a criação, implantação e consolidação de ambientes promotores de inovação, entre eles incubadoras, parques tecnológicos e polos de inovação, como: (i) possibilidade de compartilhamento de laboratórios e infraestrutura pública; (ii) cessão de imóveis da União para incubadoras e centros de pesquisa; (iii) flexibilização de parcerias público-privadas em projetos tecnológicos; e (iv) regras mais claras para a gestão da propriedade intelectual e para a transferência de tecnologia. Essa regulamentação também reforçou o objetivo de reduzir a insegurança jurídica, elemento que anteriormente desestimulava gestores públicos e privados a assumir riscos em projetos inovadores.

O decreto também regulamenta três instrumentos específicos de estímulo à inovação nas empresas, previstos no art. 19, parágrafo 2º-A, da Lei de Inovação: a subvenção econômica, o bônus tecnológico e a encomenda tecnológica. Esses instrumentos consolidam um repertório de incentivos que, se bem aplicados, ampliam a capacidade de articulação do governo com o setor produtivo e com a pesquisa nacional, conforme a tríplice hélice de [Etzkowitz e Leydesdorff \(1995\)](#).

Na visão de [Rocha \(2019\)](#), o decreto também fortaleceu o papel das fundações de apoio e estabeleceu diretrizes mais claras para a cessão de imóveis da União destinados a

incubadoras, aceleradoras e centros de pesquisa, reduzindo a fragmentação institucional e oferecendo maior segurança jurídica às parcerias público-privadas em ciência e tecnologia. Para [Muraro \(2022\)](#), o reconhecimento do papel das ICTs é central nesse processo: mais do que geradoras de conhecimento acadêmico, essas instituições assumem a função de mediadoras ativas na transferência de tecnologia e na geração de soluções aplicadas à sociedade.

A discussão em torno do MLCTI revela, portanto, um processo de amadurecimento institucional, no qual se passa de um modelo predominantemente centrado na produção científica acadêmica para um arranjo normativo mais voltado à integração entre pesquisa e setor produtivo. Conforme argumenta [Rech Filho \(2023b\)](#), essa evolução está alinhada ao reconhecimento crescente do papel da inovação também no setor público, em que gargalos como a cultura de aversão ao risco, a ausência de visão estratégica sobre compras públicas e o excesso de interpretações jurídicas conflitantes limitam a adoção de práticas inovadoras pelo Estado. Ainda que o foco das normas seja a interação ICT-empresa, a literatura aponta que o fortalecimento da inovação pública pode ser igualmente determinante para criar condições estruturais mais favoráveis à inovação em âmbito nacional. Nesse sentido, a evolução normativa procura alinhar o Brasil a experiências internacionais em que governo, empresas e universidades interagem de forma sinérgica.

Portanto, a trajetória que se inicia com a Lei de Inovação de 2004 e é aprofundada pelo MLCTI e pelo Decreto nº 9.283/2018 evidencia uma mudança de perspectiva: de um modelo centrado na produção científica dissociada da indústria para um arranjo regulatório que busca integrar ICTs, setor produtivo e governo. Ainda que os desafios de implementação permaneçam, observa-se um esforço contínuo de adaptação do ambiente regulatório, reforçado por leis complementares como a Lei do Bem (Lei nº 11.196/2005) e a Lei das Startups (Lei Complementar nº 182/2021).

Em síntese, a evolução normativa brasileira no campo da inovação revela um percurso de avanços institucionais significativos, mas também de persistentes desafios relacionados à integração entre pesquisa científica e setor produtivo. Da Lei de Inovação de 2004 ao Decreto nº 9.283/2018, observa-se um esforço contínuo do Estado em criar instrumentos capazes de reduzir barreiras jurídicas, fomentar a participação das ICTs e estimular a inovação empresarial. Ainda assim, a efetividade desses mecanismos depende não apenas da clareza regulatória, mas também da capacidade de articulação entre governo, empresas e academia, de modo a consolidar um ecossistema inovador funcional. Nesse contexto, as políticas públicas que utilizam o poder de compra do Estado emergem como instrumentos estratégicos, uma vez que permitem alinhar demandas governamentais a soluções tecnológicas de fronteira. A análise dessas políticas, em especial das encomendas tecnológicas, constitui o próximo passo para compreender como o Estado brasileiro pode transformar o marco regulatório em resultados concretos de inovação.

3.3 Compras Públicas e a Encomenda Tecnológica

O Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), documento diretor do Programa Espacial Brasileiro, estabelece metas estratégicas que orientam o desenvolvimento do setor no país. Entre essas metas, o Objetivo Estratégico de Espaço 3 (OEE.3 – Desenvolver a indústria nacional de maneira a consolidá-la competitivamente nos mercados de bens e de serviços espaciais e a gerar benefícios socioeconômicos ao País) reconhece explicitamente a importância de utilizar o poder de compra do Estado como ferramenta de indução tecnológica e de fortalecimento da base industrial nacional ([AEB, 2022](#)). Tal diretriz confere legitimidade às políticas de inovação que utilizam as compras governamentais como instrumento estratégico, uma vez que o Estado, ao assumir o papel de demandante de soluções tecnológicas complexas, pode criar mercados, reduzir incertezas e estimular a capacidade produtiva das empresas nacionais.

Além do recurso ao poder de compra, o PNAE ressalta a necessidade de adotar outras formas de promoção da indústria espacial, como a ampliação de parcerias institucionais, o estímulo ao adensamento da cadeia produtiva e o fortalecimento de instrumentos de apoio financeiro e regulatório. Nesse sentido, o documento diretor demonstra uma compreensão ampla de que o desenvolvimento da indústria nacional não depende apenas da geração de conhecimento científico, mas da articulação coordenada entre governo, empresas e instituições de pesquisa. A referência ao OEE.3, portanto, reforça o entendimento de que políticas de compras públicas estratégicas, como as encomendas tecnológicas, são essenciais para transformar as capacidades científicas acumuladas em produtos e serviços concretos que atendam às demandas do programa espacial brasileiro, especialmente para esse setor, cuja necessidade de alto valor de investimento, riscos elevados e horizontes temporais de desenvolvimento mais longos fazem com que a indústria espacial seja demandante de políticas de compras públicas.

Nesse contexto, o poder de compra do Estado representa um instrumento estratégico de política pública, capaz de induzir processos inovativos a partir da geração de demanda por soluções tecnológicas. Ainda que Schumpeter tenha atribuído ao empresário o papel central de agente da inovação, responsável por introduzir novos produtos e processos no mercado, a experiência internacional e nacional demonstra que as compras públicas podem desempenhar um papel igualmente relevante, sobretudo em setores de alta complexidade tecnológica, como o espacial ([Edler, 2009](#)). No entanto, observa-se que, no Brasil, apenas uma pequena parcela dos volumosos montantes destinados às aquisições governamentais é direcionada a atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), sendo mais frequente a utilização do orçamento público para aquisições convencionais, sem maior impacto inovativo ([Foss; Bonacelli, 2016](#)).

De acordo com [Rauen \(2017\)](#), a racionalidade econômica que sustenta as políticas de inovação pelo lado da demanda reside no fato de que o Estado, ao direcionar sua

capacidade de compra e regulação, pode criar mercados onde eles não existiam e acelerar trajetórias tecnológicas estratégicas. A literatura mostra que tais políticas foram responsáveis por avanços significativos em setores como energia, saúde e defesa, ainda que de forma fragmentada e sem coordenação sistêmica no Brasil. Essa constatação reforça que, embora incipientes, experiências nacionais indicam que o poder de compra pode ser mobilizado de forma consciente como instrumento estruturante de inovação.

A experiência da NASA durante a era Apollo oferece um estudo de caso valioso sobre processos de aquisição em contextos de elevada incerteza tecnológica. Desde sua criação, a agência estruturou um sistema contratual que combinava planejamento de projetos com estratégias de aquisição, reconhecendo que, em muitos casos, as especificações de produtos não poderiam ser definidas de forma precisa antes do início do desenvolvimento. Diante dessa característica intrínseca ao avanço tecnológico, a NASA optou por negociações contratuais em detrimento de licitações formais, privilegiando flexibilidade e a construção de relações de confiança com seus fornecedores (Levine, 1982). Esse modelo visava equilibrar a necessidade de inovação com o controle dos riscos associados a projetos de alta complexidade.

Um ponto crucial de evolução foi a introdução de contratos de incentivo. Até o início da década de 1960, predominavam contratos de custo acrescido de honorários fixos (CPFF), frequentemente marcados por ineficiências e previsões de custos imprecisas. Em resposta a críticas e recomendações externas, a NASA implementou arranjos contratuais baseados em incentivos, como o *cost-plus-award-fee* (CPAF). Esse movimento não apenas buscou melhorar a precisão das estimativas e alinhar interesses entre a agência e os contratados, mas também deu origem a uma prática de contratação em fases sucessivas. Inicialmente, firmava-se um contrato CPFF para etapas exploratórias; em seguida, convertia-se para modelos de incentivo à medida que os requisitos técnicos se consolidavam e os riscos eram mais bem compreendidos. Essa lógica de progressão, chamada *phased project planning*, tornou-se central para mitigar incertezas, mantendo opções técnicas abertas até a definição mais madura de cada projeto (Levine, 1982).

Outro aspecto fundamental foi o esforço interno da NASA em fortalecer sua capacidade técnica e administrativa para gerenciar contratos. Reconhecia-se que apenas engenheiros e gestores internos com experiência prática poderiam avaliar a performance contratual, identificar falhas e assegurar correções oportunas. Dessa forma, a agência não delegava o julgamento final do desempenho a terceiros, mas mantinha em casa a expertise essencial para guiar decisões críticas. Essa capacidade foi complementada pela política de fomentar competição entre empresas, tanto para evitar dependência excessiva de um único fornecedor quanto para estimular inovação tecnológica em áreas específicas. Um exemplo emblemático foi a decisão de contratar a *North American Aviation* para o estágio S-II do Saturno, mesmo quando a Douglas já possuía responsabilidades em estágio similar, de modo a ampliar a base de empresas capacitadas em tecnologias de hidrogênio líquido

(Levine, 1982).

As provisões de incentivo representaram ainda a forma mais eficaz de simular condições de mercado em um ambiente essencialmente não competitivo. Contratos estruturados em múltiplos incentivos, vinculados a custos, cronograma e desempenho técnico, buscavam alinhar o esforço dos contratados aos objetivos da agência, mesmo diante de incertezas técnicas inevitáveis. Estudos internos e análises de consultorias concluíram que, embora não eliminassem todas as incertezas, os incentivos eram a melhor ferramenta disponível para disciplinar custos e prazos e manter a motivação dos contratados (Levine, 1982), assim como para simular condições de mercado.

Por fim, o apêndice D do documento lista os tipos de contratos autorizados pela NASA, cada qual adaptado a contextos específicos:

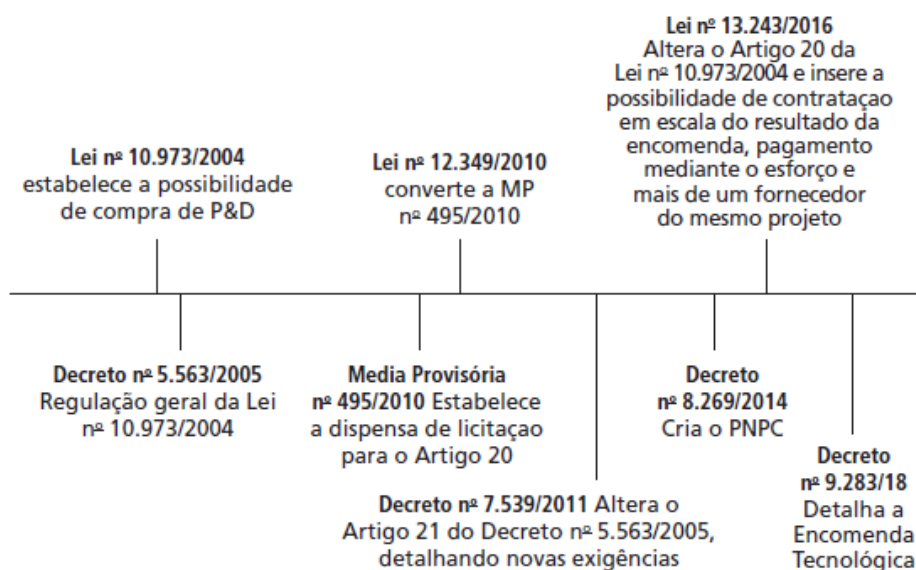
- ***Firm Fixed Price***: preço definido e risco máximo assumido pelo contratado, usado quando há clareza nos requisitos.
- ***Fixed-Price Incentive***: semelhante ao anterior, mas com lucros ajustáveis conforme metas de custo ou desempenho.
- ***Fixed-Price Escalation***: prevê ajustes no preço devido a contingências externas, como flutuações de mercado.
- ***Fixed-Price Redetermination***: permite redefinição do preço em fases, quando há incertezas iniciais de custos.
- ***Cost-Plus-Fixed-Fee (CPFF)***: reembolso integral dos custos mais taxa fixa, adequado a pesquisas com incertezas elevadas.
- ***Cost-Plus-Incentive-Fee (CPIF)***: semelhante ao CPFF, mas com metas de custo e desempenho que ajustam o lucro.
- ***Cost-Plus-Award-Fee (CPAF)***: remuneração baseada em avaliação de desempenho além de um nível aceitável.
- ***Cost Sharing***: empresa assume parte dos custos em troca de potenciais benefícios comerciais futuros.
- ***Cost Reimbursement***: reembolso dos custos sem honorários adicionais, aplicável em situações de interesse público direto.

Essa diversidade contratual reflete a busca da NASA por mecanismos capazes de lidar com os desafios inerentes ao desenvolvimento de tecnologias pioneiras, balanceando risco, incentivo à inovação e responsabilidade fiscal (Levine, 1982).

Outro exemplo paradigmático de política americana de inovação pelo lado da demanda é a DARPA, analisada por [Squeff e Negri \(2017\)](#). A agência norte-americana, criada em 1958, estruturou-se como uma organização estatal capaz de assumir riscos elevados, articular parcerias com empresas e universidades e induzir o desenvolvimento de tecnologias críticas, como a internet, sistemas de navegação por satélite e inteligência artificial. O modelo da DARPA evidencia que, em certos contextos, o Estado pode ir além do papel de demandante, atuando como verdadeiro orquestrador de ecossistemas tecnológicos, definindo missões e mobilizando recursos em torno delas. Essa experiência complementa a análise da NASA, mostrando a diversidade de arranjos institucionais que podem sustentar políticas de demanda bem-sucedidas.

No Brasil, a ferramenta análoga é a Encomenda Tecnológica (ETEC) que constitui um dos instrumentos mais relevantes de fomento à inovação previstos no arcabouço legal brasileiro, como ferramenta de compra pública. Sua aplicação antecede a própria formalização jurídica, pois desde a década de 1960, durante o regime militar, experiências em áreas estratégicas como petróleo e setor aeroespacial utilizavam mecanismos semelhantes. Entretanto, apenas em 2004, com a Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004) o instrumento foi formalmente incorporado ao ordenamento e, posteriormente, aprimorado pela Lei nº 13.243/2016, regulamentada pelo Decreto nº 9.283/2018 como modalidade especial de contratação pública voltada a atividades de pesquisa e desenvolvimento que envolvem risco tecnológico significativo, consolidando sua aplicação como política pública de inovação ([Rauen; Barbosa, 2019](#)). A Figura 4 mostra o histórico do arcabouço jurídico das ETECs no Brasil até 2019.

Figura 4 – Histórico das Encomendas Tecnológicas no Brasil.



Fonte: ([Rauen; Barbosa, 2019](#))

Seu amparo jurídico ainda foi reforçado pela Lei nº 14.133/2021 (BRASIL, 2021c), que substituiu a antiga Lei de Licitações (BRASIL, 1993), e pela Lei Complementar nº 182/2021 (Marco Legal das Startups), ao prever o Contrato Público para Solução Inovadora (CPSI), inspirado no modelo da encomenda (Rauen, 2018; Rauen, 2019; Rauen, 2023). Mesmo assim, até hoje, as políticas de fomento à inovação frequentemente privilegiam instrumentos de oferta, como linhas de financiamento à P&D industrial, que se apresentam como caminhos mais claros para o formulador de políticas em CT&I. Em contrapartida, o estímulo à demanda, representado pela compra pública, tende a ser preterido por parecer mais nebuloso em sua operacionalização (Foss; Bonacelli, 2016).

Conforme analisado por Macedo (2017), as políticas de demanda no Brasil devem ser compreendidas como um conjunto mais amplo de instrumentos que incluem não apenas a compra pública, mas também regulação, definição de padrões e políticas de clusters. Sua lógica é a de que a demanda é capaz de induzir e acelerar a inovação em setores estratégicos, especialmente quando coordenada com políticas de oferta, como crédito e subsídios. Nesse sentido, a ETEC se apresenta como a face mais visível de uma política de demanda, mas não a única, devendo ser articulada em um arranjo institucional mais amplo.

O diferencial das ETECs reside na possibilidade de o Estado contratar, com dispensa de licitação, soluções que não existem no mercado, mas cuja pesquisa e desenvolvimento possam atender a demandas estratégicas e gerar benefícios sociais, industriais e tecnológicos. Para Rauen (2019), essa flexibilidade normativa representou um avanço considerável em termos de segurança jurídica e legitimidade institucional, embora barreiras culturais, como a aversão ao risco na administração pública, ainda limitem a adoção mais ampla do instrumento.

A literatura distingue claramente as *compras públicas tradicionais* das *compras públicas para inovação*. Enquanto as primeiras se limitam à aquisição de bens e serviços disponíveis no mercado, com ênfase em critérios de preço e prazos de entrega, as segundas envolvem especificações funcionais que desafiam o setor produtivo a desenvolver soluções tecnológicas inéditas ou significativamente aprimoradas (Rech Filho, 2023a). Nesse contexto, surgem tipologias relevantes como a *Public Procurement for Innovation* (PPI) e a *Pre-Commercial Procurement* (PCP). No primeiro caso, a aquisição pública é orientada para induzir inovação ao articular demandas estratégicas do Estado com a capacidade inovadora das empresas; no segundo, o Estado atua como comprador inicial de uma tecnologia emergente, possibilitando a maturação de soluções que, em seguida, encontram mercado privado subsequente (Squeff, 2014). A noção de compra catalítica mostra como o governo pode não apenas suprir suas próprias necessidades, mas também criar novos mercados ao abrir espaço para tecnologias de fronteira. A especificidade brasileira é que a Encomenda Tecnológica (ETEC), enquanto modalidade jurídica única, pode abarcar tanto características de PCP quanto de PPI, sendo considerada uma política de inovação

pelo lado da demanda ([Rauen; Barbosa, 2019](#)).

Antes do Decreto nº 9.283/2018, havia amarras regulatórias e inseguranças jurídicas que limitavam o uso da encomenda tecnológica como mecanismo contratual. A Lei de Inovação introduziu a noção de “indução de inovação por meio de compras públicas”, mas sua aplicação prática encontrava dificuldades em razão da rigidez do arcabouço legal vigente ([Squeff, 2014](#)). O decreto de 2018, ao regulamentar de forma mais clara a encomenda tecnológica, ampliou as possibilidades de utilização desse instrumento e fortaleceu sua segurança jurídica, permitindo que gestores públicos e atores do Sistema Nacional de Inovação (SNI) construíssem arranjos jurídico-institucionais mais adequados.

Portanto, o arcabouço legal brasileiro, ainda que tenha avançado com a inclusão da encomenda tecnológica e com a regulamentação de 2018, continua a demandar esforços para superar barreiras culturais e operacionais que limitam o pleno uso do poder de compra como instrumento de inovação. Persiste, em especial, uma cultura de aversão ao risco na administração pública, que leva gestores a optar por soluções consolidadas em vez de induzir o desenvolvimento de tecnologias emergentes. Contudo, como argumentam [Mazzucato, Spanó e Doyle \(2024\)](#), o Brasil possui condições favoráveis para transformar a compra pública em uma ferramenta estratégica de inovação, desde que sejam adotadas práticas que valorizem sua capacidade de criar novos mercados e induzir trajetórias tecnológicas. As chamadas compras estratégicas podem desempenhar papel fundamental não apenas no fortalecimento da indústria nacional, mas também na resolução de desafios sociais complexos, quando orientadas por missões de longo prazo. Nesse sentido, ao alinhar as compras governamentais a objetivos de transformação estrutural, como sustentabilidade, inclusão digital e autonomia tecnológica, o Estado pode utilizar seu poder de compra não apenas como demandante de soluções, mas como agente ativo na construção de um modelo de desenvolvimento inovador e direcionado para missões nacionais prioritárias.

Os estudos destacam que as compras públicas podem produzir impactos mais expressivos sobre a dinâmica inovativa do que subsídios diretos à P&D. A aquisição de soluções de alta tecnologia pelo Estado pode estimular simultaneamente a expansão dos investimentos privados em P&D, a difusão de novos padrões tecnológicos e a consolidação de cadeias produtivas locais ([Squeff, 2014](#)). De acordo com [Edler \(2009\)](#), há três efeitos interdependentes no fomento à demanda por inovação: (i) o estímulo direto à oferta de novos produtos e processos; (ii) a melhoria da produtividade a partir da absorção e uso das inovações; e (iii) o fortalecimento de serviços públicos para melhor atingir os objetivos sociais. A autora ainda salienta que o apoio político é premissa essencial para o sucesso das compras públicas inovadoras, dado que tais iniciativas frequentemente envolvem maior risco e necessitam de legitimidade institucional.

Outro ponto relevante é a racionalidade econômica que sustenta as ETECs no Brasil. Diferentemente de instrumentos convencionais de aquisição, esse modelo só se jus-

tifica quando não há soluções disponíveis no mercado ou quando razões estratégicas, como defesa, saúde pública ou soberania tecnológica, tornam indispensável o investimento em inovação. Assim, a ETEC deve ser entendida como instrumento de exceção, mas com alto potencial de criar capacidades industriais e científicas de longo prazo (Rauen; Barbosa, 2019). Para apoiar essa racionalidade, recomenda-se o uso de *Technology Readiness Levels* (TRLs) como critério de maturidade tecnológica, servindo como portões de seleção entre fases do contrato. O arranjo pode assumir a forma de funil: múltiplos fornecedores competem nas fases iniciais e, progressivamente, apenas os que atingirem os TRLs estabelecidos avançam, até restar a solução mais promissora (Rauen; Barbosa, 2019).

Do ponto de vista contratual, a literatura relata as cinco modalidades de remuneração aplicáveis às encomendas tecnológicas, conforme estipuladas pelo Decreto nº 9.283/2018, cada qual desenhada para lidar com diferentes graus de risco tecnológico e de incerteza orçamentária. O Guia de Boas Práticas (Rauen; Barbosa, 2019) detalha a racionalidade que sustenta cada tipo de contrato, reforçando que a escolha deve considerar fatores como o nível de maturidade tecnológica (TRL), a estratégia de mercado do fornecedor, a urgência e impacto da solução buscada, bem como a natureza jurídica da instituição contratada.

1. **Preço fixo:** nessa modalidade, o valor do contrato é previamente definido e pago ao fornecedor independentemente das variações nos custos efetivos do projeto. Trata-se da forma mais simples de contratação e deve ser empregada quando há baixo risco tecnológico, custos minimamente previsíveis e ausência de necessidade de fortes incentivos adicionais. A previsibilidade orçamentária é alta, mas exige que o fornecedor incorpore integralmente o risco tecnológico. É adequada para fases como projetos básicos, estudos de viabilidade técnica e prototipagem de baixa complexidade.
2. **Preço fixo mais remuneração variável de incentivo:** semelhante ao modelo anterior, mas com a previsão de pagamentos adicionais condicionados ao atingimento de metas mais ambiciosas de prazo, desempenho ou custo. O contrato estabelece um patamar mínimo garantido ao fornecedor e bônus escalonados quando os resultados superam as expectativas. Essa modalidade busca alinhar os interesses da administração e do contratado, premiando entregas antecipadas ou soluções tecnológicas superiores. É recomendada em casos de impacto social relevante ou urgência elevada, quando é desejável induzir maior esforço inovador do fornecedor.
3. **Reembolso de custos sem remuneração adicional:** nesses contratos, o Estado assume os custos efetivamente incorridos pelo fornecedor, até um teto previamente estabelecido, sem qualquer margem de lucro adicional. Essa modalidade é inédita na administração pública brasileira, introduzida especificamente para lidar com o risco tecnológico elevado típico das ETECs. É recomendada para fases intermediárias de

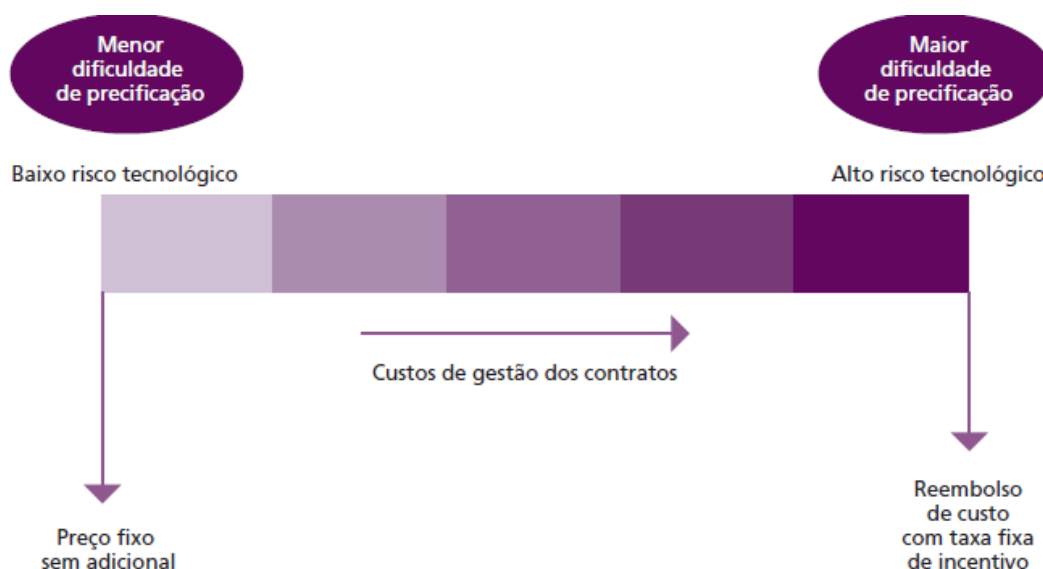
pesquisa, como validação de princípios, provas de conceito e testes de componentes, quando não é possível precificar adequadamente os custos. Exige sistemas robustos de gestão e auditoria de custos, de modo a garantir que apenas as despesas diretamente ligadas ao esforço de P&D sejam ressarcidas.

4. **Reembolso de custos mais remuneração variável de incentivo:** além do ressarcimento das despesas realizadas, o fornecedor pode receber pagamentos adicionais vinculados ao cumprimento de metas contratuais específicas, que podem incluir não apenas prazos e desempenho, mas também economia de custos frente ao orçamento previsto. É a modalidade mais flexível e também a mais complexa em termos de gestão, demandando definição clara de métricas, monitoramento rigoroso e interlocução próxima com o usuário final da tecnologia. Ao combinar segurança para o contratado e estímulo adicional ao desempenho, busca equilibrar a assunção de risco pelo Estado e a motivação privada. É indicada para prototipagens complexas e validação de subsistemas críticos.
5. **Reembolso de custos mais remuneração fixa de incentivo:** nesse caso, o contratado recebe o reembolso integral dos custos incorridos, acrescido de uma taxa fixa adicional previamente acordada, independentemente de metas variáveis. Essa estrutura transfere praticamente todo o risco tecnológico ao Estado, justificando-se em situações de elevada incerteza ou de falha de mercado evidente, quando, sem forte estímulo financeiro, a iniciativa privada não teria interesse em assumir os esforços de P&D. Embora mais simples de gerir do que a modalidade anterior, exige definição adequada do incentivo fixo, suficientemente alto para atrair fornecedores e suficientemente baixo para não onerar excessivamente os cofres públicos. É indicada, por exemplo, em projetos de formulação de conceitos disruptivos ou em casos de interesse estratégico crítico.

Essas modalidades representam um gradiente entre a menor e a maior dificuldade de precificação e, portanto, entre a menor e a maior incorporação de risco tecnológico por parte da administração pública. Em linhas gerais, os contratos a preço fixo devem ser utilizados quando há baixo risco e custos previsíveis, enquanto os modelos de reembolso se justificam diante de alta incerteza, sendo calibrados por incentivos fixos ou variáveis para garantir a atratividade e o esforço do fornecedor. O uso adequado dessas ferramentas permite que a encomenda tecnológica seja eficiente não apenas na criação de soluções específicas, mas também na construção de capacidades industriais e científicas de longo prazo (Rauen; Barbosa, 2019). Nota-se, em comparação direta, que há menos modalidades de remuneração permitidas pela legislação brasileira do que as utilizadas pela NASA, mencionadas anteriormente,

A escolha da modalidade contratual, portanto, deve considerar o risco tecnológico do projeto. O Guia apresenta essa relação de forma esquemática, representada na Figura 5, que ilustra como diferentes tipos de contrato se alinham a diferentes graus de risco.

Figura 5 – Adequação das modalidades contratuais ao risco tecnológico



Fonte: (Rauen; Barbosa, 2019)

Nota-se que quanto maior a incerteza tecnológica, mais os contratos baseados em reembolso de custos se tornam adequados, pois permitem maior flexibilidade diante de riscos não previstos. Por outro lado, em cenários de previsibilidade elevada, o modelo de preço fixo é preferível, pois garante maior controle orçamentário ao Estado. Essa gradação reforça a importância do desenho contratual como mecanismo de balanceamento entre risco, incentivo à inovação e responsabilidade fiscal.

A experiência brasileira mostra que a utilização das ETECs permanece relativamente restrita, conforme os mapeamentos conduzidos pelo IPEA desde 2010. Embora existam exemplos relevantes nas áreas de saúde, energia, defesa e espaço, trata-se ainda de um instrumento subutilizado quando comparado ao seu potencial estratégico (Rauen, 2018; Rauen, 2023). Nesse sentido, a literatura enfatiza que as encomendas podem se consolidar como instrumentos de compra pública estratégica, especialmente quando orientadas por missões nacionais de longo prazo, como o combate à dengue, segurança pública, mobilidade urbana e, ousado adicionar, a soberania nacional no setor espacial, todos capazes de alinhar necessidades governamentais com a expansão da base tecnológica do país e, subsequentemente, resultar no desenvolvimento socioeconômico da população.

O caso CBERS/MUX, analisado por Pellegrini *et al.* (2017), mostra de forma emblemática os efeitos da inadequação do antigo arcabouço jurídico brasileiro para lidar com contratações de P&D em setores de alta complexidade tecnológica. Sob a égide da Lei nº

8.666, a empresa nacional Opto Eletrônica enfrentou enormes dificuldades no fornecimento da câmera multiespectral (MUX) para o satélite CBERS. O processo licitatório tradicional não permitia considerar apropriadamente os riscos tecnológicos envolvidos nem flexibilizar as exigências contratuais conforme o avanço da maturidade tecnológica do projeto. Como resultado, houve atrasos significativos, comprometimento da qualidade do produto final e fragilização de um fornecedor estratégico em um setor no qual a construção de capacitações nacionais é fundamental.

Esse caso reforça que a ausência de instrumentos adequados, como a Encomenda Tecnológica, pode levar à perda de oportunidades críticas de aprendizado e de consolidação da indústria espacial brasileira. A lógica da ETEC, ao permitir contratações com dispensa de licitação, cláusulas específicas para lidar com incertezas e mecanismos de incentivo, teria oferecido melhores condições para alinhar os interesses da Opto Eletrônica, da AEB e do programa CBERS. A experiência negativa da MUX evidencia, portanto, a importância de institucionalizar instrumentos de política de demanda que considerem os riscos tecnológicos inerentes à inovação espacial.

Assim, a análise do caso CBERS/MUX fornece um contraponto histórico direto à atual experiência da AEB com o desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial (SNI). Enquanto o primeiro ilustra os limites de um arcabouço jurídico rígido, o segundo representa a tentativa de aplicar as lições aprendidas por meio do uso da ETEC. Dessa forma, a encomenda tecnológica do SNI pode ser vista como uma resposta institucional às falhas anteriores, buscando assegurar que os investimentos públicos em tecnologia espacial resultem na efetiva criação de capacidades industriais e científicas nacionais.

Entre os casos registrados, destaca-se a atuação da Agência Espacial Brasileira (AEB), citada na literatura como referência positiva no uso da encomenda tecnológica. O mapeamento conduzido pelo IPEA ressalta que a Agência conseguiu empregar o instrumento de forma consistente em um setor marcado por elevada complexidade e risco tecnológico, cumprindo as finalidades previstas em lei e demonstrando capacidade institucional para articular a política de inovação com objetivos estratégicos nacionais (Rauen, 2023). A experiência da AEB é relevante não apenas por se inserir em um campo altamente intensivo em ciência e tecnologia, mas também por evidenciar como a encomenda pode ser utilizada de modo eficaz quando há clareza de propósitos e alinhamento com políticas públicas. É justamente essa experiência que será detalhada na próxima seção, dedicada à análise da ETEC da AEB, destinada à criação de um Sistema de Navegação Inercial (SNI).

4 Estudo de caso: Sistema de Navegação Inercial (SNI)

O presente capítulo apresenta o estudo de caso da Encomenda Tecnológica (ETEC) conduzida pela Agência Espacial Brasileira (AEB) para o desenvolvimento de um Sistema de Navegação Inercial (SNI). A análise conecta a discussão teórica sobre o papel das compras públicas para inovação, desenvolvida no capítulo anterior, com a aplicação prática do instrumento em um projeto estratégico do Programa Espacial Brasileiro (PEB). Ao abordar a racionalidade da escolha do instrumento, a justificativa do SNI como objeto da encomenda, a descrição da tecnologia, sua motivação estratégica e as fases de desenvolvimento propostas, busca-se compreender como a ETEC opera, na prática, como mecanismo de política pública indutora de capacidades tecnológicas críticas para o país.

A Nota Técnica nº 9/2021 da [AEB \(2020d\)](#) apresenta a trajetória histórica da utilização do poder de compra do Estado para estímulo ao desenvolvimento do setor espacial. O documento evidencia as limitações enfrentadas pelo PEB em períodos anteriores à Lei de Inovação (Lei nº 10.973/2004), quando havia insegurança jurídica para que o Estado contratasse soluções não disponíveis no mercado. A partir da promulgação da Lei nº 13.243/2016 e, posteriormente, de sua regulamentação pelo Decreto nº 9.283/2018, o cenário institucional passou a oferecer maior clareza para que a administração pública utilizasse o instrumento da ETEC em setores de alta complexidade tecnológica.

No caso em análise, a AEB reconheceu na ETEC a ferramenta adequada para induzir a participação do setor privado nacional em uma tecnologia crítica e historicamente inacessível ao Brasil, devido a entraves relacionados a embargos internacionais e restrições de transferência de tecnologia. Dessa forma, o racional da ETEC aplicado ao SNI não apenas reforça a legitimidade do uso do poder de compra do Estado, como também representa a adoção de um novo paradigma: a mudança do modelo em que o setor público deveria desenvolver integralmente tecnologias sensíveis para um arranjo em que empresas privadas assumem protagonismo, com suporte institucional e jurídico adequado.

A experiência da AEB com a ETEC do SNI foi organizada em um processo pioneiro, registrado e analisado por [Nascimento *et al.* \(2022\)](#). Os autores relatam que o processo de contratação foi estruturado em fases claramente definidas, iniciando em agosto de 2019 e culminando com a assinatura do contrato em dezembro de 2020. Cada fase trouxe lições aprendidas, que hoje se configuram como boas práticas para futuras iniciativas do gênero.

Preparação e formalização do processo

O processo teve início em agosto de 2019 com um workshop realizado em São José dos Campos (SJC), voltado a disseminar conhecimento sobre a encomenda tecnológica e a envolver potenciais interessados. Em dezembro do mesmo ano, a AEB promoveu capacitações específicas em ETEC, contando com apoio do IPEA e do Tribunal de Contas da União (TCU), o que permitiu formar uma equipe com melhor preparo técnico-jurídico para conduzir o processo. A etapa foi formalizada internamente na AEB, marcando o início oficial da tramitação do projeto como encomenda tecnológica.

Planejamento inicial e definição do objeto

Na sequência, a Agência estruturou os Estudos Técnicos Preliminares (ETP), apoiados em metodologia de *design thinking*, com o objetivo de compreender os desafios e possibilidades do projeto. Foi também criada uma página eletrônica dedicada ao tema, assegurando transparência e comunicação com a sociedade. Em paralelo, em dezembro de 2018 o Comitê de Desenvolvimento do Programa Espacial Brasileiro (CDPEB) selecionou o SNI como uma tecnologia prioritária.

A decisão pela contratação de um Sistema de Navegação Inercial foi fundamentada em três dimensões principais: (i) sua característica dual, com aplicações tanto civis quanto militares; (ii) a possibilidade de embargos internacionais, que historicamente inviabilizaram o acesso do Brasil a sistemas de navegação de aplicação espacial; e (iii) a necessidade de consolidar capacidades nacionais em um segmento considerado crítico para a autonomia do PEB. Como assinala a AEB, “a obtenção de sistemas de navegação de aplicação espacial representa historicamente um entrave às atividades brasileiras de pesquisa e desenvolvimento” (AEB, 2020b).

O histórico brasileiro na área de navegação ilustra a pertinência dessa escolha. Desde os anos 1980, com o desenvolvimento do Veículo Lançador de Satélites (VLS-1), havia a percepção de que a autonomia em sistemas de guiagem e navegação era indispensável para a consolidação de uma capacidade de acesso autônomo ao espaço. Entretanto, o VLS-1 operava com soluções importadas ou de desenvolvimento parcial, que não atingiram o nível de confiabilidade requerido para missões orbitais. O projeto evidenciou tanto o desafio tecnológico como a dependência externa do Brasil nesse campo estratégico.

Nos anos 2000, o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) estruturou o projeto do Sistema de Navegação Inercial (SISNAV), voltado a aplicações aeronáuticas e espaciais. O SISNAV foi um marco importante, pois buscou desenvolver giroscópios e acelerômetros de fabricação nacional. Avanços foram registrados na fase de pesquisa e no desenvolvimento de protótipos, mas a iniciativa enfrentou limitações significativas relacionadas ao alto custo, ao tempo de maturação da tecnologia e à ausência de um arcabouço jurídico que permitisse ao Estado contratar soluções ainda em fase de desenvolvimento. Apesar de

relevantes, os resultados do SISNAV não alcançaram plena operacionalidade, deixando evidente a necessidade de uma estratégia institucional mais robusta para sustentar a evolução do setor.

É nesse ponto que a ETEC surge como instrumento capaz de modificar o cenário. Ao invés de esperar que o setor público desenvolva integralmente tecnologias críticas por meio de projetos de pesquisa de longa duração, a encomenda tecnológica possibilita mobilizar o setor privado em arranjos de risco compartilhado, com segurança jurídica e flexibilidade contratual. Assim, o SNI contratado pela AEB representa a continuidade e o amadurecimento de esforços anteriores (VLS-1 e SISNAV), mas em um novo paradigma de política pública, que alia a demanda estratégica do Estado ao dinamismo da indústria nacional.

Sistemas de navegação inercial consistem em tecnologias capazes de determinar posição, orientação e velocidade de um veículo sem a necessidade de referências externas, por meio do uso de acelerômetros e giroscópios de alta precisão. Seu valor estratégico decorre da independência em relação a sinais externos, como o GPS, tornando-os essenciais em aplicações onde a autonomia é requisito. Essa característica confere ao SNI um caráter dual: além de aplicações civis, como no setor aeroespacial e marítimo, a tecnologia possui importância decisiva para a defesa nacional.

O desenvolvimento da tecnologia insere-se em um contexto internacional em que sistemas de navegação sempre desempenharam papel crucial. Como relembra [Mazzucato \(2021\)](#), a NASA enfrentou desafio semelhante ao planejar o Programa Apollo. Ainda em 1961, seu primeiro grande contrato não foi para foguetes ou espaçonaves, mas para um sistema de controle e navegação, sem o qual seria impossível conduzir com segurança as missões tripuladas à Lua. Esse paralelo histórico ilustra a centralidade de tais tecnologias em programas espaciais avançados e reforça a pertinência da escolha do SNI como objeto estratégico da encomenda brasileira.

O documento de Estudos Preliminares detalha originalmente cinco fases principais para o desenvolvimento e a qualificação do Sistema de Navegação Inercial, estruturadas de modo a reduzir riscos tecnológicos por meio de um processo incremental de validação. As fases estão sintetizadas na Tabela 1.

Benchmarking e capacitação institucional

O processo incluiu uma etapa de *benchmarking*, em janeiro de 2020, com consultas a outras instituições públicas que já haviam testado o instrumento da ETEC. Essa troca de experiências permitiu à AEB antecipar dificuldades e adotar práticas mais adequadas. Também foi firmado um Acordo de Cooperação Técnica (ACT) entre a AEB e o TCU, em março de 2020, de modo a alinhar expectativas e assegurar conformidade regulatória.

Tabela 1 – Fases de desenvolvimento e qualificação da tecnologia de navegação inercial

Fase	TRL	Entregáveis principais	Testes/Validações
1ª Fase	TRL 3	Projeto de engenharia contendo: soluções tecnológicas escolhidas; métodos de fabricação e teste; definição preliminar de software, arquitetura elétrica e mecânica; cronograma de custos.	Revisão preliminar do projeto (<i>Preliminary Design Review – PDR</i>).
2ª Fase	TRL 4	Modelos de engenharia e componentes internos (OBC, IMU, telemetria, software de navegação).	Simulações, provas de conceito, teste de resposta em tempo real, verificação de integridade estrutural. Revisão de Requisitos do Sistema (<i>System Requirements Review – SRR</i>).
3ª Fase	TRL 5	Modelo de engenharia integrado com OBC e sensores (IMU), sistema de telemetria.	Validação em ambiente relevante: processamento de trajetória em tempo real, transmissão de dados ao solo.
4ª Fase	TRL 6–7	Modelo de qualificação (INS integrado, estrutura compacta, rede elétrica e telemetria).	Testes de resistência estrutural, ambientais e de funcionamento. Certificação do projeto.
5ª Fase	TRL 8–9	Protótipos finais (4 unidades) de qualificação em voo, com todos os componentes integrados.	Testes estruturais e ambientais em voo; validação em lançadores suborbitais ou orbitais.

Fonte: elaborado pelo autor com base em (AEB, 2020b).

Consulta pública e envolvimento de especialistas

Em março de 2020, a AEB publicou o Edital nº 0064961/2020 de consulta pública, com o objetivo de coletar informações de potenciais interessados e aprimorar o Termo de Referência da encomenda tecnológica para desenvolvimento de quatro protótipos de um Sistema de Navegação Inercial (SNI) (AEB, 2020a). O edital explicitava critérios fundamentais, como a definição do problema, possíveis soluções e seus parâmetros técnicos, estágio de maturidade tecnológica (*Technology Readiness Level – TRL*), viabilidade de desenvolvimento, estimativa de custos e cronograma, além de propostas de propriedade intelectual e comprovação de capacidade técnica dos proponentes. O público-alvo incluía empresas nacionais, Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs), startups e pesquisadores com reconhecida competência na área.

O cronograma previa a publicação do edital, a constituição do Comitê Técnico de Especialistas e a análise das manifestações, culminando na apresentação de relatório. Conforme previsto, foram instituídos dois comitês de especialistas: um interno, composto por representantes da AEB, e outro externo, reunindo especialistas independentes. Esses comitês desempenharam papel central na avaliação técnica e na sistematização dos

requisitos da futura contratação.

O Relatório Consolidado da Etapa de Consulta Pública registrou a participação de sete instituições, entre empresas (Avibrás, AEL Sistemas, Orbital Engenharia, Innalogics, Castro Leite), institutos (IEAv) e fundações (CERTI) (AEB, 2020e). As manifestações confirmaram a viabilidade do desenvolvimento nacional, mas também destacaram riscos relacionados a componentes críticos, como sensores inerciais, sujeitos a embargo internacional. As propostas variaram em termos de desempenho, do grau industrial ao grau tático de ponta, maturidade tecnológica (TRLs entre 4 e 9) e escopo (de unidades de medição inercial até sistemas completos).

Outro ponto identificado foi a diversidade de arranjos propostos, incluindo tanto soluções baseadas em customização de tecnologias maduras quanto propostas mais ambiciosas de desenvolvimento integral, de maior custo e risco. Houve ainda diferentes abordagens sobre propriedade intelectual: desde a possibilidade de compartilhamento entre empresa e AEB até a defesa de titularidade exclusiva por parte do fornecedor. Apesar dessa heterogeneidade, observou-se consenso quanto à relevância estratégica do projeto e à disposição das instituições em colaborar.

A consulta pública cumpriu, portanto, sua função de reduzir assimetrias de informação entre setor público e privado, fornecendo insumos relevantes para a elaboração do Termo de Referência da ETEC. O relatório concluiu que o processo foi suficiente e satisfatório, possibilitando que a AEB avançasse para a etapa seguinte do processo de contratação.

Revisão dos estudos técnicos e gestão de riscos

A etapa de revisão dos Estudos Técnicos Preliminares (ETPs), realizada em julho de 2020, representou um momento de inflexão no processo da encomenda tecnológica. A partir das contribuições recebidas na consulta pública e dos debates promovidos nos Comitês de Especialistas internos e externos, constatou-se que o desenho inicial do desenvolvimento, estruturado em cinco fases, não refletia adequadamente a complexidade do projeto. Como resultado, optou-se pela reformulação em seis fases, de forma a escalonar entregáveis e marcos de validação de modo mais realista e compatível com a maturidade tecnológica esperada em cada etapa (Nascimento *et al.*, 2022).

Essa reestruturação permitiu maior flexibilidade para acomodar diferentes escolhas tecnológicas das empresas proponentes, sem comprometer os objetivos estratégicos da encomenda. A Nota Técnica nº 43/2020/DTEL (AEB, 2020c) detalha que, além da alteração no número de fases, foram promovidos ajustes relevantes: a retirada da exigência obrigatória de uso de componentes GNSS (ainda que recomendados), a exclusão de testes em foguetes de treinamento suborbitais por sua inadequação ao perfil de voo requerido, e a ênfase em lançadores de pequeno porte como ambiente de qualificação mais pertinente.

Também foram incorporadas modificações terminológicas para padronizar a descrição de tecnologias em língua portuguesa, fortalecendo a clareza do Termo de Referência.

Paralelamente, foi estruturada uma matriz de gestão de riscos, contemplando a avaliação contínua da probabilidade e do impacto de diferentes cenários técnicos, jurídicos e financeiros. O documento registra que essa matriz deveria ser constantemente atualizada ao longo do processo, funcionando como instrumento preventivo de governança e transparência, inclusive em resposta a recomendações do Tribunal de Contas da União. A prática buscou não apenas antecipar problemas, mas também assegurar a robustez institucional da contratação.

A experiência revelou lições importantes: inicialmente acreditava-se que os insumos da consulta pública seriam suficientes para sustentar o Termo de Referência, mas os comitês de especialistas demonstraram a necessidade de ajustes adicionais. Essa constatação reforçou o valor da revisão técnica colegiada como boa prática em encomendas tecnológicas, dado o alto grau de assimetria de informações inerente a esse tipo de processo. Outro aprendizado foi a necessidade de maior flexibilidade no cronograma, pois a revisão dos ETPs acarretou atraso em relação às datas inicialmente previstas.

Assim, a revisão dos estudos técnicos consolidou-se como etapa essencial para garantir que o Termo de Referência refletisse de forma fidedigna o problema tecnológico a ser enfrentado, as metas de desempenho e a lógica incremental de desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial. Ao admitir ajustes sucessivos, em conformidade com o Decreto nº 9.283/2018, a AEB fortaleceu o caráter adaptativo da ETEC, equilibrando inovação, segurança jurídica e governança pública (AEB, 2020c).

Publicação do termo de referência, negociação e contratação

Em julho de 2020, a AEB publicou o Termo de Referência (TR), documento que consolidou os elementos jurídicos, técnicos e administrativos necessários para dar início formal ao processo de contratação do Sistema de Navegação Inercial. O TR estabeleceu seis etapas sucessivas de desenvolvimento, indo do projeto de engenharia até a entrega de quatro protótipos de voo, deixando explícita a possibilidade de execução por fases dentro de uma mesma encomenda tecnológica, com diferentes modalidades de remuneração associadas ao risco tecnológico de cada fase (AEB, 2020f).

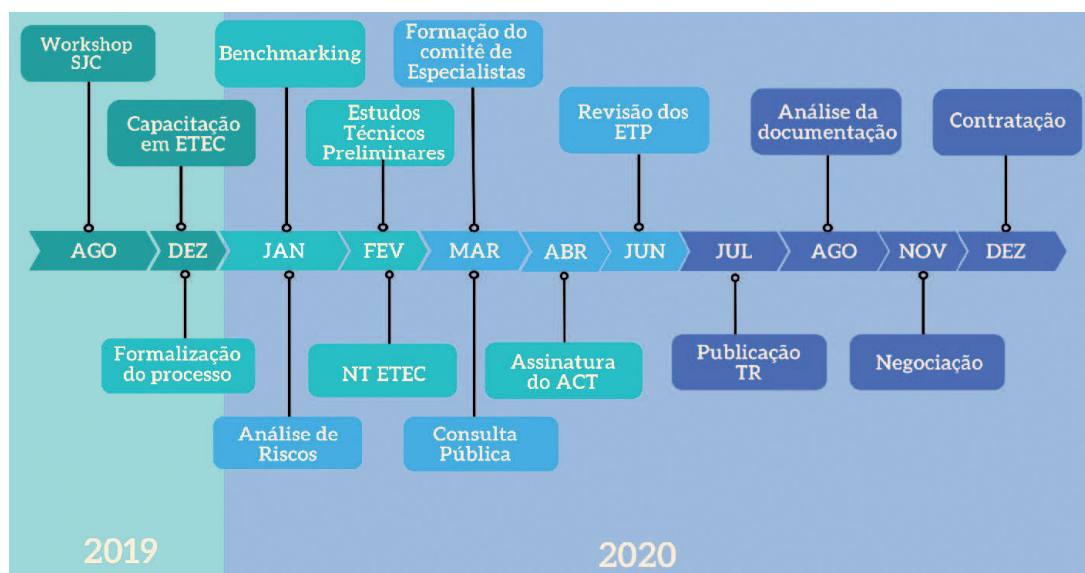
O TR também exigiu que os interessados apresentassem Projetos de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PDTIs), detalhando arranjos técnicos, cronogramas, fornecedores e estratégias de mitigação de riscos. Cinco propostas foram recebidas e analisadas por comitês de especialistas, internos e externos, com base em critérios técnicos, jurídicos e de viabilidade econômica. Essa etapa foi destacada por Nascimento *et al.* (2022) como fundamental para assegurar transparência e consistência metodológica na escolha do fornecedor.

A fase de negociação ocorreu em novembro de 2020 e foi precedida por capacitação específica dos gestores da AEB em técnicas de negociação, o que se mostrou uma boa prática na condução de processos complexos de contratação pública. Essa preparação permitiu que a Agência buscasse condições vantajosas sem comprometer a atratividade para o setor privado. Segundo o relato de Nascimento *et al.* (2022), a negociação reforçou a importância de alinhar expectativas quanto a cronogramas, riscos e direitos de propriedade intelectual, além de consolidar a compreensão sobre o papel estratégico da encomenda.

Em dezembro de 2020, foi formalizada a contratação da primeira fase da ETEC do SNI. Optou-se pela modalidade de *preço fixo*, modalidade relacionada a um risco tecnológico mais baixo. Uma lição aprendida relevante: ao estruturar a contratação por etapas, a AEB conseguiu reduzir riscos financeiros e garantir maior previsibilidade para as fases seguintes. Ressalta-se que no relato de Levine (1982), a NASA também teria aprendido na década de 60 dos seus processos de aquisição a realizar a contratação por etapas/fases. A segunda fase, também firmada a preço fixo, manteve a lógica de progressividade, demonstrando o potencial da encomenda tecnológica de adaptar-se às condições concretas do desenvolvimento (Nascimento *et al.*, 2022; AEB, 2020f).

A Figura 6 apresenta a linha do tempo detalhada do processo de contratação da primeira fase, sintetizando os principais marcos do ciclo da ETEC conduzida pela AEB.

Figura 6 – Linha do tempo sobre o processo de contratação da primeira fase da ETEC da AEB



Fonte: (Nascimento *et al.*, 2022).

O estudo conduzido por Nascimento *et al.* (2022) conclui que a ETEC do SNI constitui um marco para a política de inovação no Brasil, tanto pelo caráter inédito de sua aplicação em um setor de alta complexidade quanto pela sistematização de boas práticas. Entre os principais aprendizados, destacam-se: a importância de capacitar equipes técnicas

antes da execução; o valor da transparência e da consulta pública para legitimar o processo; o papel dos comitês de especialistas para mitigar assimetrias de informação; e a relevância da gestão de riscos contínua.

Apesar dos avanços, os autores ressaltam desafios ainda presentes, como a necessidade de fortalecer a capacidade de gestão de contratos complexos na administração pública e de garantir continuidade orçamentária para projetos de longa duração. Ainda assim, a experiência da AEB é considerada exemplar e tende a inspirar outras instituições federais a utilizarem a ETEC como instrumento de indução tecnológica e fortalecimento da base industrial nacional.

A Tabela 2 sintetiza a contratação da ETEC para o desenvolvimento do SNI conforme dados atualizados. Sua elaboração partiu do quadro apresentado em Nascimento *et al.* (2022), que foi complementado com informações adicionais obtidas em documentos posteriores, incluindo publicações no Diário Oficial da União. Dessa forma, apresenta-se um panorama mais completo da execução contratual, consolidando dados de todas as fases contratadas.

Os dados indicam que o custo total do projeto alcança R\$ 28.016.911,25, somando todas as contratações efetivadas. Quanto ao tempo de execução, o acumulado previsto chega a 50 meses, superando a estimativa inicial de 36 meses estabelecida no Termo de Referência da AEB (2020f). Considerando o único consórcio que participou de todas as etapas, observa-se um valor total contratado de R\$ 15.672.960,92 (R\$ 1.668.384,00 + R\$ 3.663.446,80 + R\$ 5.834.331,69 + R\$ 4.506.798,43), cifra próxima à estimativa original de R\$ 15 milhões apresentada no Termo. Ao levar em consideração a inflação, o valor final permaneceu abaixo do estimado, o que evidencia que, apesar do prolongamento temporal do projeto, os custos se mantiveram alinhados com a previsão inicial, sinalizando equilíbrio entre o planejamento orçamentário e a execução contratual. Ressalte-se, entretanto, que o atraso registrado, ainda que superior ao previsto, não foi tão crítico quanto o observado na contratação da câmera MUX no âmbito do Programa CBERS, em que a rigidez da Lei nº 8.666 dificultou o avanço da iniciativa (Pellegrini *et al.*, 2017).

Nesse sentido, a Encomenda Tecnológica (ETEC) mostra-se particularmente adequada para contratações de caráter estratégico e marcadas por elevada incerteza tecnológica, pois confere flexibilidade jurídica e contratual, mitiga riscos de paralisação e cria condições favoráveis à superação de barreiras históricas do Programa Espacial Brasileiro. No caso do SNI, o modelo de contratação por etapas potencializou esse caráter indutor e catalítico ao permitir aprendizado incremental entre os fornecedores, difusão de conhecimento tecnológico ao longo do processo e manutenção da concorrência nas fases iniciais, antes da convergência para a solução mais promissora. Esse arranjo reforça o papel da AEB como agente coordenador e aproxima sua atuação da lógica da *Public Procurement for Innovation* (PPI) catalítica.

Tabela 2 – Síntese da contratação da ETEC para desenvolvimento do SNI

Problema	Desenvolvimento nacional do SNI
Objeto da contratação	SNI
Etapas	Primeira: projeto de engenharia. Segunda: modelos de desenvolvimento de sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio), sensores auxiliares e eletrônica associada à UMI e ao tratamento de sinais. Terceira: modelos de qualificação de sensores inerciais, sensores complementares e eletrônica associada à UMI. Modelo de desenvolvimento da UMI, computador de bordo e software de processamento de navegação. Quarta: modelo de qualificação da UMI, dos sensores auxiliares, do computador de bordo e do software de processamento de navegação. Quinta: modelo de qualificação do SNI completo. Sexta: quatro modelos protótipos de voo do SNI.
Primeira etapa	
Número de contratados	5 consórcios, que reuniram 13 empresas.
Valor global contratado	R\$ 8.012.105,00 (BRASIL, 2020).
Modelo de remuneração	Preço fixo.
Tempo de execução	6 meses.
Segunda etapa	
Número de contratados	2 consórcios até o momento, que reúnem 5 empresas.
Valor global contratado	R\$ 6.113.676,13 (BRASIL, 2021a).
Modelo de remuneração	Preço fixo.
Tempo de execução	12 meses.
Etapas 3 e 4	
Número de contratados	2 consórcios até o momento, que reúnem 5 empresas.
Valor global contratado	R\$ 9.384.331,69 (BRASIL, 2023).
Modelo de remuneração	Preço fixo.
Tempo de execução	18 meses.
Etapas 5 e 6	
Número de contratados	1 consórcio até o momento, que reúne 3 empresas.
Valor global contratado	R\$ 4.506.798,43 (BRASIL, 2024).
Modelo de remuneração	Preço fixo.
Tempo de execução	14 meses.

Fonte: elaborado pelo autor com base em ([Nascimento et al., 2022](#); [AEB, 2020f](#)).

A PPI catalítica ocorre quando organizações do setor público atuam como compradoras, ainda que não sejam as usuárias finais dos resultados do processo de contratação. Em outras palavras, a agência pública de contratação atua como catalisadora, coordenadora e recurso técnico em benefício dos usuários finais ([Edquist et al., 2015](#), p. 8). [Traduzido pelo autor.]

No caso da ETEC do SNI, a AEB assumiu exatamente esse papel: atuou como demandante estratégico e catalisador do processo, mas os resultados alcançados tendem

a beneficiar diversos atores institucionais, como as Forças Armadas, o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e futuros operadores de sistemas espaciais no país, públicos ou privados. Dessa forma, a experiência confirma a função da AEB como coordenadora do Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais (SINDAE), conforme previsto em sua lei de criação, a Lei nº 8.854 (BRASIL, 1994), e no Decreto nº 1.953, de 10 de julho de 1996 (BRASIL, 1996), e representado na figura 7 abaixo:

Figura 7 – Representação simplificada do SINDAE.



Fonte: (Trein, 2022)

A entrevista realizada com o sr. Rafael Campos Mordente (conteúdo presente integralmente no Apêndice A), representante do Consórcio DJED, responsável pela execução de todas as seis etapas previstas na encomenda tecnológica do SNI, fornece elementos relevantes para compreender a experiência empresarial sob o arranjo da ETEC. Suas respostas permitem avaliar a percepção do setor privado acerca do mecanismo e como ele foi capaz de induzir inovação, mitigar riscos e estruturar um processo de desenvolvimento tecnológico crítico.

Do ponto de vista do modelo de contratação, o entrevistado destacou que a divisão em etapas sucessivas foi positiva por possibilitar uma curva de aprendizado incremental e contínuo. Essa avaliação dialoga diretamente com os achados anteriormente descritos na Tabela 1, que mostram a lógica de progressão por níveis de maturidade tecnológica, reduzindo incertezas a cada fase. Conforme observado na dissertação, esse arranjo reforça o caráter catalítico da ETEC, ao permitir a entrada inicial de múltiplos competidores e a subsequente convergência para a solução mais robusta, algo ressaltado pelo representante do consórcio como um estímulo adicional para a busca por inovação.

Em relação à experiência prática da empresa, o entrevistado mencionou desafios significativos de ordem técnica e organizacional, sobretudo na integração de sensores de alta precisão e no gerenciamento de equipes multidisciplinares. Essas dificuldades confirmam o que foi anteriormente discutido sobre os entraves enfrentados em projetos passados, como o SISNAV, nos quais a ausência de um ambiente institucional favorável limitou a continuidade dos esforços. Ao contrário, no caso atual, a estrutura contratual da ETEC forneceu maior previsibilidade e clareza, permitindo que a empresa internalizasse competências críticas sem enfrentar as descontinuidades típicas de iniciativas anteriores.

Quanto ao modelo de remuneração, avaliado como adequado pelo representante, a escolha do preço fixo conferiu maior segurança ao contratante, ao mesmo tempo em que exigiu disciplina gerencial do consórcio. Tal percepção reforça a discussão feita anteriormente sobre a mudança de paradigma em relação ao modelo tradicional de desenvolvimento público, pois a ETEC impôs ao setor privado a responsabilidade pela eficiência no uso dos recursos, mas garantiu estabilidade contratual para avanços tecnológicos de longo prazo.

No bloco de sugestões de aperfeiçoamento, o entrevistado ressaltou a importância de reduzir a complexidade burocrática e de ampliar os mecanismos de estímulo à participação de pequenas e médias empresas em consórcios do gênero. Essa observação converge com a literatura sobre *Public Procurement for Innovation*, que enfatiza o papel de arranjos contratuais como catalisadores de ecossistemas inovativos mais diversificados. Tais apontamentos abrem espaço para reflexões sobre possíveis evoluções do modelo brasileiro de ETEC, aproximando-o de práticas internacionais em políticas de inovação.

Sobre os próximos passos, foi destacada a percepção de viabilidade comercial para o SNI e derivados, tanto no mercado nacional quanto em nichos internacionais. Esse ponto é especialmente relevante pois confirma a expectativa, discutida no capítulo, de que o resultado da ETEC extrapole o uso direto pelo Programa Espacial Brasileiro, gerando oportunidades econômicas e fortalecendo a base industrial de defesa e aeroespacial do país. Nesse aspecto, a fala do entrevistado reforça o caráter catalítico do mecanismo: ainda que a AEB seja a contratante estratégica, os benefícios tendem a alcançar usuários finais distintos e até novos mercados. Em consonância com o entendimento de [Edquist et al. \(2015\)](#), a atuação da AEB, embora central como demandante, produziu efeitos difusos de capacitação e inovação.

Por fim, nas reflexões estratégicas, o representante destacou a relevância do instrumento da ETEC para a autonomia tecnológica nacional e sugeriu sua aplicação em outras áreas críticas além da navegação inercial, citando "soluções de rastreamento utilizando antenas de telemetria, tubos móveis para veículos lançadores, motores de foguetes a propulsão líquida, sistemas de navegação para satélites, câmeras multi e hiperespectrais". Dessa forma, a entrevista reforça a interpretação de que a experiência do SNI constitui

um marco não apenas para o setor espacial, mas para a política de inovação brasileira como um todo, na qual a ETEC deve ser vista como instrumento fundamental para o desenvolvimento da ciência e tecnologia no Brasil, e por consequência, o desenvolvimento socioeconômico da sociedade brasileira.

5 Considerações Finais

O presente trabalho buscou analisar, sob a ótica dos paradigmas tecnológicos e das políticas públicas de inovação, as transformações recentes no setor espacial e a experiência brasileira com a Encomenda Tecnológica (ETEC) para o desenvolvimento do Sistema de Navegação Inercial (SNI). Os objetivos inicialmente propostos foram atendidos ao se articular a literatura clássica sobre inovação com a evolução histórica e institucional do Programa Espacial Brasileiro, culminando em um estudo de caso que ilustra de forma concreta os desafios e as potencialidades da utilização do poder de compra do Estado como indutor de inovação.

No campo teórico, autores como Schumpeter e Dosi mostraram que a inovação não é apenas um fenômeno técnico, mas um processo dinâmico de destruição criativa e de mudança de paradigmas, no qual novos agentes e novas combinações produtivas reconfiguram setores inteiros. O setor espacial, com a emergência do movimento *New Space*, confirma essas dinâmicas ao introduzir foguetes reutilizáveis, constelações de satélites em larga escala, CubeSats e novos modelos de negócio que alteraram radicalmente a estrutura da indústria. Rosenberg contribui ao ressaltar o caráter cumulativo e iterativo das inovações, evidenciado pelo acúmulo de avanços incrementais em materiais, eletrônica e softwares de controle que pavimentaram o caminho para a revolução atual. Freeman e Mazzucato, por sua vez, lembram que tais transformações não se sustentam sem a atuação coordenada do Estado, que financia riscos, cria mercados e estabelece arranjos institucionais capazes de sustentar trajetórias tecnológicas de longo prazo.

O estudo de caso da ETEC para o SNI exemplifica como esse arcabouço teórico se materializa em políticas públicas no Brasil. Trata-se de um projeto emblemático por três razões centrais. Primeiro, por lidar com uma tecnologia crítica e de uso dual, historicamente inacessível devido a embargos internacionais. Segundo, por adotar um instrumento legal inovador no país, que somente após a regulamentação do Marco Legal de Ciência, Tecnologia e Inovação (Decreto nº 9.283/2018) tornou-se viável em termos jurídicos. Terceiro, por representar uma inflexão no modelo de política espacial, em que o Estado deixa de assumir isoladamente o papel de desenvolvedor e passa a atuar como demandante estratégico, transferindo protagonismo às empresas privadas em arranjos de risco compartilhado.

A comparação com os Estados Unidos é inevitável e instrutiva. A NASA, nos anos 1960, utilizou instrumentos contratuais flexíveis, como no caso do primeiro grande contrato do Programa Apollo, voltado a sistemas de navegação, que possibilitaram a rápida mobilização de empresas privadas em torno de um desafio tecnológico de fronteira. Essa capacidade institucional de contratar inovação de forma ágil e juridicamente segura foi

decisiva para o sucesso do programa. No Brasil, a possibilidade de empregar instrumentos semelhantes só se consolidou a partir de 2018, quase seis décadas depois, o que ajuda a explicar a defasagem tecnológica entre os países. Mais do que uma questão de recursos financeiros, a lacuna decorre da ausência histórica de mecanismos legais e de uma cultura institucional que enxergasse as compras públicas como vetor de desenvolvimento tecnológico.

A experiência da ETEC do SNI mostra que é possível começar a superar essas limitações. O modelo de contratação por etapas revelou-se eficaz para reduzir riscos, permitir aprendizado incremental e manter múltiplos competidores nas fases iniciais, aproximando-se da lógica de uma *Public Procurement for Innovation* (PPI) catalítica. Nessa modalidade, a agência pública, no caso, a AEB, atua como catalisadora e coordenadora do processo, mas os benefícios extrapolam a instituição contratante, atingindo usuários finais como as Forças Armadas, a academia e demais atores do ecossistema espacial. Assim, a política não apenas viabiliza o desenvolvimento de uma tecnologia específica, mas também fortalece as capacidades nacionais em ciência, tecnologia e inovação.

Outro aspecto que merece destaque é que, embora o cronograma da ETEC tenha superado a previsão inicial de 36 meses, estendendo-se para cerca de 50 meses, esse atraso não se revelou tão crítico quanto em projetos anteriores, como a contratação da câmera MUX para o programa CBERS, tampouco levou a tantos problemas absorvidos pela contratada. Isso reforça a tese de que a ETEC é mais adequada para lidar com incertezas inerentes a tecnologias críticas, pois oferece flexibilidade contratual e mecanismos de acompanhamento que evitam paralisações prolongadas. Ademais, mesmo com a extensão temporal, os custos se mantiveram condizentes e até menores (considerando a inflação) do que a estimativa inicial, evidenciando um adequado equilíbrio entre planejamento orçamentário e execução contratual.

Complementarmente, a análise da entrevista realizada com o representante do Consórcio DJED reforça de maneira prática muitos dos achados desta dissertação. As respostas evidenciam que o modelo de contratação por etapas trouxe maior segurança jurídica ao Estado e condições realistas para a indústria conduzir desenvolvimentos de alto risco, confirmando sua adequação frente a contratos tradicionais. Do ponto de vista empresarial, destacou-se o estímulo à inovação técnica e organizacional, a partir da combinação de competências complementares entre as empresas consorciadas e da necessidade de soluções nacionais diante de restrições internacionais. Além disso, observou-se que o modelo de preço fixo, embora com limitações, foi considerado adequado ao contexto brasileiro por garantir previsibilidade orçamentária e mitigar distorções concorrenciais. A experiência também demonstrou que a repetição e a difusão do da ETEC tendem a reduzir inseguranças institucionais, ao passo que a comercialização futura do produto depende da consolidação de herança de voo e da abertura de novos mercados, nacionais e internacionais. Dessa forma, a entrevista confirma a relevância da ETEC como instrumento

estratégico de autonomia tecnológica e como política catalítica de inovação, capaz de gerar efeitos positivos para além do projeto em si e de abrir caminho para aplicações em outras áreas críticas do setor espacial brasileiro.

Essa inserção prática reforça a coesão entre teoria e estudo de caso, demonstrando que os benefícios percebidos pelos gestores públicos encontram correspondência direta nas percepções do setor privado, fortalecendo o argumento de que a ETEC não apenas viabiliza projetos estratégicos, mas também consolida capacidades industriais e institucionais que ampliam o alcance e a sustentabilidade das políticas de inovação no Brasil.

Dessa forma, a dissertação cumpre seu propósito ao demonstrar que tecnologias espaciais não são apenas instrumentos de defesa ou de projeção geopolítica, mas também ativos estratégicos para o desenvolvimento socioeconômico. Investimentos em ciência e tecnologia têm efeito multiplicador, gerando *spillovers* para setores civis e ampliando a base industrial e científica do país. O caso do SNI exemplifica como políticas de compra pública bem estruturadas podem transformar barreiras históricas em oportunidades de fortalecimento nacional.

Para o futuro, a ampliação do uso da ETEC no Brasil depende de duas condições. A primeira é a consolidação de uma cultura institucional que reconheça a importância da compra pública como instrumento de política de inovação, superando resistências culturais e burocráticas ainda presentes. A segunda é a destinação consistente de recursos financeiros para ciência, tecnologia e inovação, uma decisão que requer convencimento político e visão estratégica de longo prazo. Sem esses elementos, mesmo instrumentos legais avançados podem permanecer subutilizados.

Em termos de contribuições metodológicas, este trabalho também demonstrou a relevância da observação participante e do relato de experiência, uma vez que o autor integra a equipe técnica responsável pela ETEC. Essa posição privilegiada permitiu não apenas acessar informações relevantes, mas também compreender os desafios internos de coordenação e gestão, aspectos frequentemente invisíveis em análises externas. Ao mesmo tempo, a adoção de múltiplas fontes de evidência e a triangulação de dados contribuíram para mitigar vieses, garantindo a robustez da análise.

Como sugestões para trabalhos futuros, identificam-se três linhas principais de pesquisa. A primeira refere-se ao estudo aprofundado dos modelos de remuneração em encomendas tecnológicas. O modelo de preço fixo, adotado pela AEB, é mais simples para a gestão pública, mas pode não ser o mais adequado para projetos de alta incerteza tecnológica, em que arranjos como CPAF, CPFF ou CPIF poderiam oferecer maior aderência às necessidades de inovação. A segunda linha de pesquisa diz respeito ao mapeamento de tecnologias estratégicas que poderiam ser contratadas via ETEC no Brasil, incluindo soluções para os desafios emergentes do setor espacial internacional, como mineração espacial, manufatura em órbita, gerenciamento de tráfego espacial e cibersegurança

(2.4.6). Trabalhos nessa direção podem auxiliar o país a não apenas seguir a fronteira tecnológica definida por outros, mas a posicionar-se de forma mais proeminente como gerador de soluções para a economia espacial global. Uma outra questão a ser abordada por pesquisas futuras é a definição do arranjo relacionado à propriedade intelectual de projetos contratados via ETEC para o Programa Espacial Brasileiro, de forma a subsidiar os próximos tomadores de decisão.

Em síntese, a dissertação demonstrou que a combinação entre fundamentos teóricos da inovação e aplicação prática em políticas públicas fornece um quadro poderoso para compreender e orientar o desenvolvimento do setor espacial brasileiro. O setor espacial continuará a ser um campo estratégico, onde ciência, tecnologia, economia e geopolítica se entrelaçam. Cabe ao Brasil decidir se permanecerá na posição de seguidor ou se, a partir de instrumentos como a ETEC, assumirá o protagonismo na construção de um futuro em que o espaço não seja apenas um destino, mas um vetor de desenvolvimento nacional.

Referências

ABGI. Análise do decreto nº 9.283/2018 e seus impactos sobre o marco legal de inovação. **Revista de Políticas Públicas em Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 45–60, 2018. Citado na página 67.

ABIODUN, A. A. *et al.* Development of indigenous capability in remote sensing. **Space Policy**, Elsevier, v. 4, n. 2, p. 121–130, 1988. Citado na página 54.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Edital de consulta pública nº 0064961/2020: Consulta pública sobre a encomenda tecnológica para desenvolvimento de protótipos de sistema de navegação inercial. Brasília, 2020. Disponível em: <https://sei.aeb.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=116362>. Acesso em: 2 de set. de 2025. Citado na página 82.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Estudos preliminares: Contratação por meio do instrumento encomenda tecnológica de solução embarcada padrão para medição, processamento e acompanhamento de posição e trajetória de voo em foguetes de classes variadas. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/encomenda-tecnologica-etec/documentos-1/documentos>>. Acesso em: 28 de ago. de 2025. Citado 2 vezes nas páginas 80 e 82.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Nota Técnica nº 43/2020/DTEL: Ajustes técnicos em relação aos estudos técnicos preliminares e minuta de termo de referência que fundamentam a contratação por etec. Brasília, 2020. Disponível em: <https://sei.aeb.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=139924&infra_sistema=100000000&infra_unidade_atual=0>. Acesso em: 28 de ago. de 2025. Citado 2 vezes nas páginas 83 e 84.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Nota Técnica nº 9/2021/SEP: Encomenda tecnológica sobre sistema de navegação inercial. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/encomenda-tecnologica-etec/documentos-1/documentos>>. Acesso em: 28 de ago. de 2025. Citado na página 79.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Relatório consolidado da etapa de consulta pública: Encomenda tecnológica para contratação de sistema de navegação inercial. Brasília, 2020. Disponível em: <https://sei.aeb.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=117885>. Acesso em: 2 de set. de 2025. Citado na página 83.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. Termo de Referência – Encomenda Tecnológica do Sistema de Navegação Inercial (SNI): Processo nº 01350.000025/2020-58. Brasília, 2020. Disponível em: <https://sei.aeb.gov.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=141454>. Acesso em: 10 set. 2025. Citado 4 vezes nas páginas 84, 85, 86 e 87.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Amazonia 1 é lançado com sucesso e já está em órbita**. 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/aeb/pt-br/assuntos/noticias/amazonia-1-e-lancado-com-sucesso-e-ja-esta-em-orbita>>. Acesso em: 30 set. 2021. Citado na página 47.

- AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais: 2022-2031**. Brasília, 2022. Citado na página 69.
- AGHION, P.; HOWITT, P. A model of growth through creative destruction. **Econometrica**, Econometric Society, v. 60, n. 2, p. 323–351, 1992. Citado na página 35.
- AILOR, W. H. Space traffic management: Implementations and implications. **Acta Astronautica**, Elsevier, v. 58, n. 5, p. 279–286, 2006. Citado na página 51.
- ALBUQUERQUE, E. da Motta e. Nathan rosenberg: historiador das revoluções tecnológicas e de suas interpretações econômicas. **Revista Brasileira de Inovação**, UNICAMP, Campinas, SP, v. 16, n. 1, p. 9–34, 2017. Citado na página 39.
- ALTMAN, D. Hybrid rocket development history. In: **AIAA/SAE/ ASME/ASEE 27th Joint Propulsion Conference**. [S.l.]: American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 1991. Citado na página 45.
- ARIANESPACE. **Ariane 6**. 2025. Disponível em: <<https://www.arianespace.com/ariane-6/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2024. Citado na página 61.
- AUTRY, G. The next economic revolution just (re)launched: Congratulate spacex, thank nasa. **Forbes Science**, 2017. Disponível em: <<https://www.forbes.com/sites/gregautry/2017/04/01/the-next-economic-revolution-just-relaunched-congratulate-spacex-thank-nasa/?sh=53243f9a8c7e>>. Acesso em: 20 out. 2021. Citado na página 44.
- BLAUG, M. **Metodologia da economia ou como os economistas explicam**. Tradução Afonso Luís Medeiros dos Santos Lima. São Paulo: Ed. Usp, 1993. Citado na página 32.
- BORENSZTEIN, E.; GREGORIO, J. D.; LEE, J.-W. How does foreign direct investment affect economic growth? **Journal of international Economics**, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 115–135, 1998. Citado na página 54.
- BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. regulamenta o art. 37, inciso xxi, da constituição federal, institui normas para licitações e contratos da administração pública e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 21 jun. 1993. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 73.
- BRASIL. Lei nº 8.854, de 10 de fevereiro de 1994. Cria, com natureza civil, a Agência Espacial Brasileira (AEB). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1994. Citado na página 88.
- BRASIL. Decreto nº 1.953, de 10 de julho de 1996. Institui o Sistema Nacional de Desenvolvimento das Atividades Espaciais - SINDAE. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 1996. Citado na página 88.
- 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 dez. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/l10.973.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

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, a lei do bem, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 22 nov. 2005. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11196.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 27 fev. 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/Emendas/Emc/emc85.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 jan. 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13243.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

BRASIL. Decreto nº 9.283, de 7 de fevereiro de 2018. regulamenta a lei nº 10.973/2004 e a lei nº 13.243/2016, e estabelece medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 7 fev. 2018. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/d9283.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

BRASIL. Extrato de dispensa de licitação nº 48/2020 - uasg 203001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 dez. 2020. Edição 245, Seção 3, p. 26. Citado na página 87.

BRASIL. Extrato de dispensa de licitação nº 64/2021 - uasg 203001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 13 dez. 2021. Edição 233, Seção 3, p. 15. Citado na página 87.

BRASIL. Lei complementar nº 182, de 1º de junho de 2021. institui o marco legal das startups e do empreendedorismo inovador. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1 jun. 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp182.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 66.

BRASIL. Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021. dispõe sobre normas gerais de licitação e contratação. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 1 abr. 2021. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14133.htm>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 73.

BRASIL. Extrato de contrato nº 39/2022 e extrato de contrato nº 38/2022. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 4 jan. 2023. Edição 3, Seção 3, p. 10. Citado na página 87.

BRASIL. Extrato de contrato nº 23/2024. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 nov. 2024. Edição 226, Seção 3, p. 8. Citado na página 87.

- BRITO, J. C. B.; MARTINS, D. L. Revisão sistemática da literatura na ciência da informação: uma descrição detalhada dos passos metodológicos. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 14, n. 2, p. 24–47, 2023. Citado na página 29.
- BRYCETECH. Smallsats by the numbers. 2022. Disponível em: <<https://brycetechnology.com/reports.html>>. Acesso em: 10 fev. 2022. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.
- BRYCETECH. Smallsats by the numbers. 2024. Disponível em: <<https://brycetechnology.com/reports.html>>. Acesso em: 15 set. 2024. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.
- BRYCETECH. Smallsats by the numbers. 2025. Disponível em: <<https://brycetechnology.com/reports.html>>. Acesso em: 27 ago. 2025. Citado na página 46.
- BUSHNELL, D. M.; MOSES, R. W. Commercial space in the age of “new space”, reusable rockets and the ongoing tech revolutions. **Nasa STI**, 2018. Citado na página 44.
- CARCAILLON, E.; BANCQUART, B. Market perspectives of ground segment as a service. In: **71st International Astronautical Congress (IAC). International Astronautical Federation (IAF), Online**. [S.l.: s.n.], 2020. v. 15. Citado 2 vezes nas páginas 48 e 49.
- CHRISTENSEN, C. M. **The innovator’s dilemma: when new technologies cause great firms to fail**. [S.l.]: Harvard Business Review Press, 2013. Citado na página 38.
- DALLAMUTA, J.; PERONDI, L. F.; OLIVEIRA, M. E. R. de. Space missions in south america: Profile and evolutionary perspective of their development. **Acta Astronautica**, Elsevier, v. 206, p. 9–17, 2023. Citado na página 55.
- DARPA. **DARPA Launch Challenge**. 2020. Disponível em: <<https://www.darpa.mil/news-events/2020-03-03>>. Acesso em: 03 dez. 2020. Citado na página 48.
- DAVID, A. O. **Hybrid Propulsion System for CubeSat Applications**. 146 f. Tese (Doutorado em Filosofia) — Department of Electronic Engineering, University of Surrey, Guildford, Surrey, UK, 2016. Citado na página 46.
- DENIS, G. *et al.* From new space to big space: How commercial space dream is becoming a reality. **Acta Astronautica**, Elsevier, v. 166, p. 431–443, 2020. Citado na página 53.
- DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. **Research policy**, Elsevier, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- DOSI, G. *et al.* (Ed.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter Publishers, 1988. Citado na página 33.
- DOSI, G.; NELSON, R. R. An introduction to evolutionary theories in economics. **Journal of evolutionary economics**, Springer, v. 4, p. 153–172, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- EDITORA UNICAMP. **Série Clássicos da Inovação**. 2025. Acesso em: 01 de fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://loja.editoraunicamp.com.br/colecoes/14/serie-classicos-da-inovacao>>. Citado na página 27.

EDLER, J. **Demand Policies for Innovation in EU CEE Countries**. [S.l.], 2009. Citado 2 vezes nas páginas 69 e 74.

EDQUIST, C. *et al.* **Public Procurement for Innovation**. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 87 e 89.

ETZKOWITZ, H.; LEYDESDORFF, L. The triple helix–university–industry–government relations: A laboratory for knowledge based economic development. **EASST review**, v. 14, n. 1, p. 14–19, 1995. Citado na página 67.

EUROCONSULT. **New Space, the Rapidly Evolving Ground Segment and the Forecast for the Future**. 2021. Disponível em: <<https://nova.space/press-release/space-sector-ground-segment-report-forecasts-67-billion-cumulated-market-value-from-2021-to-2030>>. Acesso em: 10 de setembro de 2024. Citado na página 50.

EUROPEAN SPACE POLICY INSTITUTE. Future of space exploration: Strategic scenarios for european space exploration 2040-2060. 2023. Citado na página 51.

EUROPEAN SPACE POLICY INSTITUTE. On-orbit servicing, assembly, and manufacturing: State of play and perspectives on future evolutions. 2023. Citado na página 51.

EUROPEAN SPACE POLICY INSTITUTE. Space, cyber and defence: Navigating interdisciplinary challenges. 2023. Citado na página 52.

FAURE, P.; CHO, M.; MAEDA, G. Establishing space activities in non-space faring nations: An example of university-based strategic planning. **Acta Astronautica**, Elsevier, v. 148, p. 220–224, 2018. Citado na página 56.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **The Annual Compendium of Commercial Space Transportation**: 2018. Washington, 2018. Citado na página 45.

FOSS, M. C.; BONACELLI, M. B. M. Compras públicas como instrumento de política de estímulo à demanda por inovação: primeiras considerações sobre o sistema paulista de inovação. **Blucher Engineering Proceedings**, Blucher Proceedings, v. 3, n. 4, p. 303–322, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 69 e 73.

FRANCINI, S. *et al.* Near-real time forest change detection using planetscope imagery. **European Journal of Remote Sensing**, IntechOpen, v. 53, p. 233–244, 2020. Citado na página 47.

FREEMAN, C. The ‘national system of innovation’ in historical perspective. **Cambridge Journal of economics**, Oxford University Press, v. 19, n. 1, p. 5–24, 1995. Citado na página 59.

GRÖNLAND, T.-A. *et al.* Miniaturization of components and systems for space using MEMS-technology. **Acta Astronautica**, v. 61, p. 228–233, 2007. Citado na página 45.

GROSSMAN, G. M.; HELPMAN, E. Quality ladders and product cycles. **The Quarterly Journal of Economics**, MIT Press, v. 106, n. 2, p. 557–586, 1991. Citado na página 37.

- HENRIQUET, P.; SANDERS, G.; VIDAL, F. **The challenges of extraterrestrial mining**. 2021. Disponível em: <<https://www.polytechnique-insights.com/en/braincamps/space/extraterrestrial-mining/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2024. Citado na página 51.
- HERTZFELD, H. R. Globalization, commercial space and spacepower in the usa. **Space Policy**, Elsevier, v. 23, n. 4, p. 210–220, 2007. Citado na página 52.
- HOBSBAWM, E. **Age of empire: 1875-1914**. [S.l.]: Hachette UK, 2010. Citado na página 62.
- HOBSBAWM, E. J.; CUMMING, M. **Age of extremes: the short twentieth century, 1914-1991**. [S.l.]: Abacus London, 1995. Citado na página 42.
- IMBUZEIRO, E. B. **O Programa Espacial Brasileiro sob a óptica do New Space**. 75 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Aeroespacial) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Citado na página 27.
- INATANI, Y.; NARUO, Y.; YONEMOTO, K. Concept and preliminary flight testing of a fully reusable rocket vehicle. **Journal of Spacecraft and Rockets**, v. 38, p. 36–42, 2001. ISSN 00224650. Citado na página 44.
- INNOSPACE. **Innospace - Announcement on orbital launch plans**. 2024. Disponível em: <https://www.innospc.com/shop_contents/myboard_read.htm?myboard_code=sub04_02&idx=301461>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 47.
- INPE. **Amazonia-1**. 201–. Disponível em: <http://www.inpe.br/amazonia1/en/about_satellite/>. Acesso em: 03 dez. 2020. Citado na página 47.
- JONES, H. W. The recent large reduction in space launch cost. **48th International Conference on Environmental Systems**, p. 81, 2018. Disponível em: <<https://ttu-ir.tdl.org/handle/2346/74082>>. Citado na página 44.
- KARABEYOGLU, A.; CANTWELL, B. J.; ALTMAN, D. Hybrid rocket propulsion. In: BLOCKLEY, R.; SHYY, W. (Ed.). **Encyclopedia of Aerospace Engineering**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2010. Citado na página 47.
- KEINERT, T. M. M. **Administração pública no Brasil: crises e mudanças de paradigmas**. [S.l.]: Annablume, 2000. v. 136. Citado na página 61.
- KELTON, S. **The Deficit Myth: Modern monetary theory and the birth of the people's economy**. 1st. ed. New York: PublicAffairs, 2020. Citado na página 64.
- KENNEDY, J. F. **We choose to go to the Moon**: Address at rice university on the nation's space effort. Houston, Texas, 1962. Speech. Disponível em: <<https://er.jsc.nasa.gov/seh/ricetalk.htm>>. Acesso em: 07 de setembro de 2025. Citado na página 24.
- KIM, L. Stages of development of industrial technology in a developing country: a model. **Research policy**, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 254–277, 1980. Citado na página 54.
- LAPPAS, V.; KOSTOPOULOS, V. A survey on small satellite technologies and space missions for geodetic applications. **Satellites Missions and Technologies for Geosciences**, IntechOpen, p. 123, 2020. Citado na página 45.

LELOGLU, U.; KOCAOGLAN, E. Establishing space industry in developing countries: Opportunities and difficulties. **Advances in Space Research**, Elsevier, v. 42, n. 11, p. 1879–1886, 2008. Citado na página 54.

LEVINE, A. S. **Managing NASA in the Apollo Era**. Washington, DC: NASA History Office, 1982. NASA SP-4102. Citado 3 vezes nas páginas 70, 71 e 85.

MACEDO, B. Fundamentos das políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil. In: RAUEN, A. T. (Ed.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2017. p. 69–112. Citado na página 73.

MAZZUCATO, M. The entrepreneurial state. **Soundings**, Demos, London, 2011. Citado na página 59.

MAZZUCATO, M. **Mission Economy: A moonshot guide to changing capitalism**. 1. ed. New York: HarperCollins Publishers, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 62 e 81.

MAZZUCATO, M.; SPANÓ, E.; DOYLE, S. **Leveraging Procurement to Advance Brazil's economic transformation agenda**. [S.l.], 2024. Citado na página 74.

MINGARDI, A. A critique of mazzucato's entrepreneurial state. **Cato J.**, HeinOnline, v. 35, p. 603, 2015. Citado na página 60.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Brasil Inovador: quatro décadas das políticas públicas que impulsionaram os ambientes de inovação e o empreendedorismo no país**. Brasília: MCTI, 2024. 1ª edição. Citado na página 66.

MOFFAT, S. A.; MORROW, R. C.; WETZEL, J. P. Astro garden™ aeroponic plant growth system design evolution. In: **49th International Conference on Environmental Systems (ICES-2019-195)**. Boston, Massachusetts, USA: Sierra Nevada Corporation, 2019. Presented at the 49th International Conference on Environmental Systems. Disponível em: <<https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/84925/ICES-2019-195.pdf>>. Citado na página 52.

MOKYR, J. **The Lever of Riches: Technological creativity and economic progress**. New York: Oxford University Press, 1990. Citado na página 36.

MONTE, L. del; SCATTEIA, L. A socio-economic impact assessment of the european launcher sector. **Acta Astronautica**, Elsevier, v. 137, p. 482–489, 2017. Citado na página 61.

MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. Technical change in the commercial aircraft industry, 1925–1975. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 20, n. 4, p. 347–358, 1981. Citado na página 41.

MURARO, L. G. Ict - instituição científica, tecnológica e de inovação. CPIN - Compras Públicas para Inovação, 2022. Citado na página 68.

NASCIMENTO, F. P. d. Classificação da pesquisa: natureza, método, objetivos e procedimentos. In: **Metodologia da Pesquisa Científica: teoria e prática – como elaborar TCC**. Brasília: Thesaurus, 2016. p. 85–101. Citado na página 26.

NASCIMENTO, H. F. *et al.* Desafios e aprendizados na execução de encomenda tecnológica: o registro da experiência no setor espacial brasileiro. In: RAUEN, A. T. (Ed.). **Compras públicas para inovação no Brasil: novas possibilidades legais**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2022. p. 493–531. Capítulo 13. Citado 6 vezes nas páginas 79, 83, 84, 85, 86 e 87.

NELSON, R. R. **National Innovation Systems: a comparative analysis**. New York: Oxford University Press, 1993. Citado 2 vezes nas páginas 58 e 65.

OKNINSKI, A. *et al.* Hybrid rocket propulsion technology for space transportation revisited - propellant solutions and challenges. **FirePhysChem**, v. 1, p. 260–271, 2021. Citado na página 47.

OPTO. **OPTOPayload**. 2021. Disponível em: <<https://optosd.com.br/projetos/earth-observation-3u-optical-payload/>>. Acesso em: 20 jan. 2021. Citado na página 48.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Oslo manual 2018: Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>>. Citado na página 23.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Handbook on Measuring the Space Economy**. 2nd edition. ed. Paris: OECD Publishing, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/747c4f18-en>>. Citado na página 50.

PELLEGRINI, J. A. *et al.* “De alfinete a foguete”: a Lei no 8.666 como arcabouço jurídico no Programa China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS) – um estudo de caso do fornecimento da câmera Multi Expectral Regular (MUX) pela Opto Eletrônica (Opto). In: RAUEN, A. T. (Ed.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2017. p. 229–270. Citado 2 vezes nas páginas 77 e 86.

PLANET LABS PBC. **Our constellation**. 2022. Disponível em: <<https://www.planet.com/our-constellations/>>. Acesso em: 26 mar. 2022. Citado na página 48.

POPPER, K. **The logic of scientific discovery**. New York: Basic Books, 1959. Citado na página 32.

PORTAL DO HOLANDA. **Brasil prevê lançamento histórico em Alcântara e quer atrair mercado privado de foguetes**. 2024. Disponível em: <<https://www.portaldoholanda.com.br/variedades/brasil-preve-lancamento-historico-em-alcantara-e-quer-atrair-mercado-privado-de-foguetes>>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 47.

RAFALSKYI, D.; AANESLAND, A. Brief review on plasma propulsion with neutralizer-free systems. **Plasma Sources Science and Technology**, IOP Publishing Ltd, v. 25, 2016. ISSN 13616595. Citado na página 47.

RAUEN, A. **Encomendas Tecnológicas no Brasil: novas possibilidades legais**. Brasília, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 73 e 77.

RAUEN, A. **Atualização do Mapeamento das Encomendas Tecnológicas no Brasil**. Brasília, 2019. Citado na página 73.

RAUEN, A. **Mapeamento das Encomendas Tecnológicas no período 2019-2022**. Brasília, 2023. Citado 3 vezes nas páginas 73, 77 e 78.

RAUEN, A.; BARBOSA, C. M. M. **Encomendas Tecnológicas no Brasil: Guia Geral de Boas Práticas**. Brasília, 2019. Citado 5 vezes nas páginas 72, 74, 75, 76 e 77.

RAUEN, A. T. Racionalidade e primeiros resultados das políticas de inovação que atuam pelo lado da demanda no Brasil. In: RAUEN, A. T. (Ed.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2017. p. 21–68. Citado na página 69.

RAUEN, C. V. O novo marco legal da inovação no Brasil: o que muda na relação ict-empresa? **Radar**, Ipea, n. 43, p. 21–30, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 66 e 67.

RECH FILHO, A. I. Diferenças entre compras públicas tradicionais e compras públicas de inovação. CPIN - Compras Públicas para Inovação, 2023. Citado na página 73.

RECH FILHO, A. I. Inovação no setor público. CPIN - Compras Públicas para Inovação, fev. 2023. Citado na página 68.

REMENTERIA, S. Power dynamics in the age of space commercialisation. **Space Policy**, Elsevier, v. 60, p. 101472, 2022. Citado na página 53.

RICHARDS, C. L. A new space architecture. **AIAA SPACE 2015 Conference and Exposition**, p. 1–9, 2015. Citado na página 44.

ROCHA, J. C. O direito e o novo marco legal para ciência, tecnologia e inovação no Brasil. **Revista Jurídica UNIGRAN**, v. 21, n. 41, p. 15–34, 2019. Citado na página 67.

ROCKET LAB. **Responsive Space - Rocket Lab**. 2025. Disponível em: <<https://rocketlabcorp.com/launch/responsive-space/>>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 48.

ROSENBERG, N. **Inside the black box: technology and economics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1982. Citado 2 vezes nas páginas 39 e 40.

ROTTNER, R. M.; SAGE, A.; VENTRESCA, M. J. From old/new space to smart space: changing ecosystems of space innovation. **Entreprises et histoire**, Cairn/Softwin, n. 1, p. 99–119, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 51.

RÉVILLON, P. **New Space, the Rapidly Evolving Ground Segment and the Forecast for the Future**. 2019. Disponível em: <<https://www.kratosdefense.com/constellations/podcasts/rapidly-evolving-ground-segment>>. Acesso em: 10 de setembro de 2024. Citado na página 50.

SCHUMPETER, J. A. Teoria do desenvolvimento econômico. **Editora Nova Cultural Ltda. edição**, São Paulo, 1997. Citado na página 34.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Londres: George Allen & Unwin Ltd, 2003. 81–86 p. Edição original de 1942. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

SEGERSTROM, P. S. Innovation, imitation, and economic growth. **Journal of political economy**, The University of Chicago Press, v. 99, n. 4, p. 807–827, 1991. Citado na página 37.

SELVA, D.; KREJCI, D. A survey and assessment of the capabilities of Cubesats for Earth observation. **Acta Astronautica**, v. 74, p. 50–68, 2012. ISSN 00945765. Citado na página 45.

SMITH, A. **The Wealth of Nations**. New York: Bantam Dell, 2003. Bantam Classic Edition/March 2003. Citado na página 57.

SPACE AND DEFENSE. **Innospace completes second stage qualification test of HANBIT-Nano rocket**. 2024. Disponível em: <<https://spaceanddefense.io/innospace-completes-second-stage-qualification-test/>>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 47.

SPACE DAILY. **Rocket Lab books two responsive Electron missions for 2025, including launch this week**. 2025. Disponível em: <https://www.spacedaily.com/reports/Rocket_Lab_books_two_responsive_Electron_missions_for_2025_including_launch_this_week_999.html>. Acesso em: 28 ago. 2025. Citado na página 48.

SQUEFF, F.; NEGRI, F. D. Ciência e tecnologia de impacto: uma análise do caso darpa. In: RAUEN, A. T. (Ed.). **Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil**. Brasília: Ipea, 2017. p. 379–412. Citado na página 72.

SQUEFF, F. de H. S. O poder de compras governamental como instrumento de desenvolvimento tecnológico: Análise do caso brasileiro. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2014. Citado 2 vezes nas páginas 73 e 74.

SUTTON, G. P.; BIBLARZ, O. **Rocket Propulsion Elements**. 9. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2017. Citado na página 47.

SUZIGAN, W. *et al.* **A história da inovação no Brasil**. Campinas: Editora da Unicamp, 2011. Obra de referência sobre a evolução histórica da inovação no Brasil. Citado na página 66.

TIDD, J.; BESSANT, J.; PAVITT, K. **Managing innovation: integrating technological, market and organizational change**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005. Citado na página 35.

TOSON, E.; KARABEYOGLU, A. Design and optimization of hybrid propulsion systems for in-space applications. In: **51st AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference**. [S.l.]: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2015. ISBN 9781624103216. Citado na página 47.

TREIN, C. A. Actividades espaciales en Brasil. In: SPACE SUMMIT 2022. **Feria Internacional del Aire y del Espacio**. Santiago, 2022. Citado na página 88.

VENUGOPAL, D. *et al.* Ka-band satellite communication systems: Applications and configurations. In: DEVAS MULTIMEDIA PVT. LTD. **Proceedings of the Ka Band Satellite Communication Systems – Applications and Configurations**. India, 2019. Disponível em: <<https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/84925/>>

KA-BAND-SATELLITE-COMMUNICATION-SYSTEMS-APPLICATIONS-AND-CONFIGURATION.pdf>. Citado na página 50.

WATERMAN, S. **Ground Segment Aims to Fly High in the New Space Environment**. 2021. Disponível em: <<https://interactive.satellitetoday.com/via/september-2021/ground-segment-aims-to-fly-high-in-the-new-space-environment/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2024. Citado na página 49.

WOOD, D.; WEIGEL, A. Charting the evolution of satellite programs in developing countries—the space technology ladder. **Space Policy**, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 15–24, 2012. Citado na página 55.

YIN, R. K. **Case study research: design and methods**. [S.l.]: SAGE Publications Inc, 2014. v. 5. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

Apêndices

APÊNDICE A – A entrevista

A.1 Roteiro de Entrevista – Representante da Empresa (Consórcio DJED)

Este roteiro de entrevista busca compreender a experiência das empresas participantes do consórcio que concluiu todas as etapas do mecanismo ETEC (contratação por etapas de desenvolvimento tecnológico). As perguntas estão organizadas em blocos temáticos para estimular respostas abertas e reflexivas.

Bloco 1 – Experiência com o mecanismo ETEC

1. Como o senhor avalia o modelo de contratação por etapas da ETEC em comparação com contratos tradicionais?
2. Em sua visão, o mecanismo ETEC efetivamente estimulou a inovação dentro do consórcio? De que forma?

Bloco 2 – Experiência prática da empresa

3. Quais foram os principais desafios técnicos e organizacionais enfrentados pela empresa ao longo do projeto?
4. Qual o entendimento da empresa sobre o modelo de remuneração escolhido (preço fixo)? Foi adequado?

Bloco 3 – Sugestões de aperfeiçoamento

5. Que melhorias poderiam ser feitas no desenho do mecanismo ETEC para favorecer ainda mais a inovação tecnológica? (aspectos burocráticos ou contratuais que poderiam ser simplificados?)
6. Como o mecanismo poderia estimular maior participação de pequenas e médias empresas em consórcios desse tipo?

Bloco 4 – Comercialização e próximos passos

7. A empresa vê viabilidade comercial – inclusive internacionalmente – para o produto (ou derivados dele) além do contrato com o governo?

8. Há planos concretos de escalonamento, industrialização ou parcerias para explorar comercialmente os resultados?

Bloco 5 – Reflexões estratégicas

9. Como a empresa enxerga o papel de mecanismos como a ETEC na construção de autonomia tecnológica nacional?
10. Em sua opinião, esse tipo de contratação catalítica pode ser replicado em quais outras áreas estratégicas ou tecnologias do setor espacial além do SNI?

A.2 Respostas da entrevista

Respostas ao Roteiro de Entrevista – Representante da Empresa (Consórcio DJED)

BLOCO 1 – EXPERIÊNCIA COM O MECANISMO ETEC

1. Como o senhor avalia o modelo de contratação por etapas da ETEC em comparação com contratos tradicionais?

O modelo de contratação por etapas da ETEC representa um avanço em relação aos contratos tradicionais, especialmente no setor espacial. Nos contratos convencionais, há menor tolerância a riscos tecnológicos e a lógica de entrega é rígida. Já a ETEC reconhece que projetos de inovação crítica envolvem incertezas e, portanto, estrutura-se em fases sucessivas. Esse formato permite que apenas empresas que comprovem avanços técnicos sigam adiante, reduzindo riscos para o Estado e compartilhando-os com a indústria. Durante a execução, observou-se que esse mecanismo proporcionou maior segurança jurídica para o governo e clareza quanto às responsabilidades, ao mesmo tempo em que deu às empresas condições mais realistas de conduzir desenvolvimentos de alto risco tecnológico.

2. Em sua visão, o mecanismo ETEC efetivamente estimulou a inovação dentro do consórcio? De que forma?

Sim. O mecanismo estimulou inovação porque obrigou o consórcio a buscar soluções inéditas em um campo altamente restrito, a navegação inercial. A exigência de desenvolver tecnologia nacional, sem dependência de componentes sujeitos a embargo, levou a avanços técnicos significativos. Além disso, a dinâmica de consórcio, reunindo empresas com especialidades distintas (Concert, CRON e Horuseye Tech), favoreceu a combinação de competências em hardware, software e sensores, resultando em uma solução híbrida (inercial + GNSS). O processo não apenas promoveu inovação técnica, mas também amadurecimento organizacional na gestão de parcerias e no aprendizado com erros, o que fortaleceu a capacidade futura de inovação.

BLOCO 2 – EXPERIÊNCIA PRÁTICA DA EMPRESA

3. Quais foram os principais desafios técnicos e organizacionais enfrentados pela empresa ao longo do projeto?

No campo técnico, os maiores desafios decorreram do caráter dual da tecnologia (civil e militar), sujeito a embargos e restrições de fornecimento internacional. Foi necessário identificar fornecedores confiáveis e desenvolver soluções que não dependessem de

insumos críticos estrangeiros. Do ponto de vista tecnológico, o desafio principal foi integrar sistemas inerciais e GNSS de modo a compensar as limitações de cada um, garantindo precisão em ambientes de vibração intensa, variação térmica e indisponibilidade de sinal. Organizacionalmente, os desafios estavam ligados à governança do consórcio e à novidade do instrumento jurídico. Como a ETEC é recente, havia insegurança de órgãos fiscalizadores, o que alongava prazos de aprovação e exigia constante alinhamento jurídico e orçamentário. Apesar disso, o apoio da Agência Espacial Brasileira foi fundamental para superar as barreiras.

4. Qual o entendimento da empresa sobre o modelo de remuneração escolhido (preço fixo)? Foi adequado?

O modelo de preço fixo foi considerado adequado dentro da lógica da ETEC. Como se trata de encomenda tecnológica, com forte participação do Estado para mitigar riscos, o preço fixo trouxe previsibilidade orçamentária e clareza de responsabilidades. Ainda que não seja o modelo mais flexível para absorver variações de custo em projetos complexos, ele contribuiu para a disciplina financeira do consórcio e deu segurança jurídica ao processo.

Complementação: É muito difícil diferenciar a minha opinião enquanto empresário e a minha opinião enquanto cidadão sobre o mesmo assunto. É claro que opções mais flexíveis relacionadas ao orçamento, aos custos e tudo mais, essa ideia de reembolso ela é muito bem-vinda na perspectiva da empresa privada, entretanto ela tem outras dificuldades como por exemplo a garantia orçamentária. mesmo pra um contrato de preço fixo nós vimos como que era difícil garantir as fases posteriores. a ideia de ter um preço fixo, isso pelo menos é o que eu entendo, no mínimo dá pra quem está financiando nesse caso foi a agência é uma previsão de, olha, eu tenho que reservar tanto do meu orçamento anualmente pra poder garantir esse projeto durante o seu período de existência então eu acho que a instabilidade orçamentária ela dá um contorno mais adequado pra um preço fixo do que pra um preço flexível. e a segunda coisa é que quando você fala em preço fixo você também tem uma, como é que eu posso dizer, eu acho que a questão concorrencial, ela fica mais clara sabe? a Concert não trabalha com lobby nem nada disso mas nós sabemos que muitas empresas trabalham e aí quando você tem dentro do instrumento legal a possibilidade de fazer aditivos e mudar os valores de acordo com determinada justificativas então você começa a trazer um pouco de subjetividade pro contrato é mais complicado a concorrência porque tem gente que teria corpo ou relacionamento tal que ele consegue trabalhar um valor menor e aí depois ele vai sabendo que ele vai conseguir fazer as incrementações, como a Concert trabalha com muita retidão e transparência nesse sentido pra gente trabalhar com preço-fixo pelo menos nos tira essa insegurança então, é claro que se a gente tivesse um outro contexto, o preço flexível garantindo reembolso das necessidades de desenvolvimento seria ótimo mas eu não sei eu acho que, o meu sentimento é que no contexto que nós temos, o preço fixo é melhor.

BLOCO 3 – SUGESTÕES DE APERFEIÇOAMENTO

5. Que melhorias poderiam ser feitas no desenho do mecanismo ETEC para favorecer ainda mais a inovação tecnológica?

A experiência da Concert Space indica que o desenho atual já cumpre bem seu papel. É natural que, por ser um instrumento novo, tenha gerado inseguranças em órgãos fiscalizadores, mas isso tende a diminuir conforme se acumularem casos de referência. Em vez de reduzir burocracia, o que poderia comprometer a transparência do uso de recursos públicos, a melhoria desejável está na difusão e repetição do modelo. Quanto mais utilizado for, maior a fluidez nos trâmites e menor a insegurança dos operadores.

6. Como o mecanismo poderia estimular maior participação de pequenas e médias empresas em consórcios desse tipo?

A participação de pequenas e médias empresas pode ser favorecida com incentivos explícitos à formação de consórcios que combinem empresas de diferentes portes, valorizando a complementaridade de competências. Na prática, o próprio caso da ETEC do sistema de navegação já demonstrou essa sinergia, ao unir empresas especializadas de nicho (como Horuseye Tech e CRON) sob liderança da Concert. Ao ampliar a visibilidade do instrumento e prever editais que incentivem essa composição, pode-se aumentar a inserção de PMEs em projetos estratégicos.

BLOCO 4 – COMERCIALIZAÇÃO E PRÓXIMOS PASSOS

7. A empresa vê viabilidade comercial – inclusive internacionalmente – para o produto (ou derivados dele) além do contrato com o governo?

Sim. O produto tem potencial de comercialização nacional e internacional, mas depende de consolidar “herança de voo” (flight heritage), um requisito essencial no setor espacial. A primeira oportunidade será o voo do sistema em 2025, a bordo de veículo sul-coreano lançado do Brasil. Além disso, o mesmo desenvolvimento está sendo aplicado no projeto do Microlançador Brasileiro (MLBR), financiado pela Finep. O fato de o sistema de controle do MLBR estar pronto já em fase intermediária do projeto demonstra maturidade e abre perspectivas de fornecimento a outros clientes e países.

8. Há planos concretos de escalonamento, industrialização ou parcerias para explorar comercialmente os resultados?

Sim. O consórcio já planeja industrialização do sistema, com foco em atender demandas nacionais e explorar nichos internacionais. A Concert Space, por exemplo, estruturou-se em 2023 como unidade de negócios voltada exclusivamente ao setor espacial, justamente para sustentar planos de longo prazo. Além disso, parcerias com investidores privados e players

internacionais estão em análise, inclusive para futuros projetos, como a constelação Bifrost, que a empresa avalia desenvolver com recursos próprios e parceiros de mercado.

BLOCO 5 – REFLEXÕES ESTRATÉGICAS

9. Como a empresa enxerga o papel de mecanismos como a ETEC na construção de autonomia tecnológica nacional?

A ETEC é vista como fundamental para a soberania tecnológica. O setor espacial é de altíssimo risco e raramente conta com investimentos privados suficientes. Ao compartilhar riscos com a indústria, o Estado permite que tecnologias críticas sejam desenvolvidas dentro do país, evitando dependência de importações sujeitas a embargo. A experiência mostrou que, sem a ETEC, dificilmente seria viável investir recursos próprios em um desenvolvimento tão arriscado. Assim, o mecanismo cumpre papel estratégico na construção de autonomia e reduz vulnerabilidades nacionais.

10. Em sua opinião, esse tipo de contratação catalítica pode ser replicado em quais outras áreas estratégicas ou tecnologias do setor espacial além do SNI?

O modelo pode ser replicado em diversas áreas críticas do setor espacial, o fundamental é que haja uma estratégia progressiva que garanta as bases para cada desenvolvimento. Por exemplo, seria impossível o desenvolvimento do Microlançador Brasileiro (MLBR) nos valores e prazos estabelecidos pela FINEP sem que antes a AEB, através da ETEC, tivesse financiado o desenvolvimento do SNI. Dito isso, entendo que ainda existem algumas carências em termos de tecnologia nacional para sistemas e subsistemas espaciais importantes em todos os segmentos (solo, lançamento e especial), por exemplo: soluções de rastreamento utilizando antenas de teledetecção, plataformas móveis para veículos lançadores, motores de foguetes a propulsão líquida, sistemas de navegação para satélites, câmeras multi e hiperspectrais etc.

De todo modo, a experiência demonstra que, quando o Estado atua como indutor, cria-se um ambiente propício para o setor privado assumir riscos e desenvolver soluções com alto impacto em soberania tecnológica. Dessa forma, a ETEC não apenas é replicável, como desejável em diferentes frentes da agenda espacial nacional.