



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROPRIEDADE INTELECTUAL E
TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA PARA A INOVAÇÃO – PROFNIT

Alexandre Euzebio

Technology Foresight do Sistema Portuário Brasileiro:
Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia

Florianópolis
2023

Alexandre Euzebio

Technology Foresight do Sistema Portuário Brasileiro:
Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Richartz

Co-orientador: Prof. Dr. Aluisio Moreira

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra

Euzebio, Alexandre

Technology Foresight do Sistema Portuário Brasileiro :
Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia / Alexandre Euzebio ;
orientador, Fernando Richartz, coorientador, Aluisio Moreira,
2023.

190 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Socioeconômico, Programa de Pós-Graduação
em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para
Inovação, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para
Inovação. 2. Prospecção Tecnológica. 3. Ecossistema de Inovação
Portuária. 4. Portos Inteligentes. I. Richartz, Fernando. II.
Moreira, Aluisio. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e
Transferência de Tecnologia para Inovação. IV. Título.

Alexandre Euzebio

***Technology Foresight* do Sistema Portuário Brasileiro:
Desenvolvimento e Aplicação de Metodologia**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Fernando Richartz, Dr.

UFSC

Prof. Rosinei de Sousa Oliveira, Dr.

UFOPA

Prof. Amir Mattar Valente, Dr.

FAPEU

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Fernando Richartz, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2023

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, que foram uma fonte inesgotável de inspiração na minha eterna busca por conhecimento e no sonho de contribuir para uma sociedade melhor para todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Fernando Richartz e Aluisio Moreira, respectivamente, meu orientador e coorientador, por toda a dedicação a este trabalho.

Aos professores Amir Mattar Valente e Álvaro Prado, expresso minha gratidão pelas valiosas contribuições.

À professora Gisele Esteves Prado, pela revisão e formatação do trabalho.

À Fundação Cenep, pelo apoio institucional no desenvolvimento deste estudo.

À toda equipe do Labtrans da Universidade Federal de Santa Catarina pelo suporte técnico e acadêmico.

E, por fim, estendo meu profundo agradecimento ao coordenador professor Irineu Afonso Frey, aos professores e servidores da UFSC por todo conhecimento generosamente compartilhado.

RESUMO

Os portos desempenham um importante papel na corrente de comércio dos países, por tratar-se de elo vital na cadeia de suprimentos e, portanto, seu desenvolvimento tecnológico impacta na eficiência logística de todos os setores da economia. Para se manter competitivo face às demandas mundiais de conformidade socioambientais, de segurança e produtividade, o sistema portuário brasileiro necessita de uma agenda adequada, a exemplo de outros portos que se tornaram referências mundiais nesses temas, com o risco de o Brasil perder grande fatia de mercados onde essas restrições são mandatórias especialmente as de segurança e sustentabilidade. Com esse objetivo foi desenvolvida e aplicada uma metodologia de *technology foresight*, baseada em referencial teórico consolidado e adequado às especificidades do setor portuário brasileiro, para atingir esse objetivo foi elaborada uma pesquisa qualitativa, com fins explicativos instrumentalizada pela pesquisa bibliográfica, documental e de campo, com o método *Delphi* de entrevista de especialistas para o levantamento e análise dos *inputs* e *outputs*, elaborando-se o *technology foresight* e seus resultados apresentados na forma de um *technology roadmap* e matriz *SWOT*. Como principais achados da aplicação da metodologia verificou-se a evolução dos processos causada pela transformação digital no sistema portuário, a falta de políticas públicas adequadas de CT&I, desindustrialização nacional, poucos e inadequados investimentos em PD&I especialmente nas tecnologias críticas como de semicondutores e de 5G, de planejamento de longo prazo, e a necessidade de formação de mão de obra especializada e com novas competências. Esses fatores acarretaram uma defasagem tecnológica, dependência internacional em PD&I e conseqüentemente perda de competitividade para o setor. Como produto de pesquisa propõe-se um cenário de futuro tecnológico obtido através da metodologia de *TF* desenvolvida e instrumentalizada pelo *TRM*.

Palavras-chave: Prospecção Tecnológica; Ecossistema de Inovação Portuária; Portos Inteligentes.

ABSTRACT

Ports play an important role in the countries' trade flow, as they are a vital link in the supply chain and, therefore, their technological development impacts the logistical efficiency of all sectors of the economy. To remain competitive in the face of global demands for socio-environmental compliance, safety and productivity, the Brazilian port system needs an adequate agenda, like other ports that have become global references in these areas, with the risk of Brazil losing a large share of markets where these constraints are mandatory, especially those of safety and sustainability. With this objective, a technology foresight methodology was developed and applied, based on a consolidated theoretical framework and adapted to the specificities of the Brazilian port sector. To achieve this objective, a qualitative research was developed, with explanatory purposes, instrumented by bibliographical, documentary and field research, with the Delphi method of interviewing experts to survey and analyze inputs and outputs, developing technology foresight and its results presented in the form of a technology roadmap and SWOT matrix. The main findings from the application of the methodology were the evolution of processes caused by the digital transformation in the port system, the lack of adequate public ST&I policies, national deindustrialization, few and inadequate investments in RD&I especially in critical technologies such as semiconductors and 5G, long-term planning, and the need to train specialized labor with new skills. These factors led to a technological lag, international dependence on RD&I and consequently a loss of competitiveness for the sector. As a research product, a technological future scenario is proposed, obtained through the TF methodology developed and implemented by TRM.

Keywords: Technology Foresight; Port Innovation Ecosystem; Smart Ports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes Físicos do Sistema Portuário	25
Figura 2 – Componentes Políticos, Gerenciais e Operacionais do Sistema Portuário	26
Figura 3 – Custos por Componente Logístico em Relação ao PIB	28
Figura 4 – Fluxo De Suprimentos Da Cadeia Logística.....	29
Figura 5 – Inovação Aberta para Cadeia de Suprimentos com uso do Método <i>SIPOC</i>	30
Figura 6 – Estratificação dos Modais Brasileiros de Transporte e seu Perfil Energético.....	32
Figura 7 – Atribuições dos Setores Público x Privado na Administração Portuária.....	34
Figura 8 – Objetivos Funcionais por Tipo de Administração Portuária	35
Figura 9 – Gerações Portuárias e suas Inovações	38
Figura 10 – Projeção do Navio de 50k <i>TEUs</i> , 18k e 10k <i>TEUs</i>	40
Figura 11 – Projeção do Navio de 50k <i>TEUs</i> no Berço de Atracação	41
Figura 12 – Proposta de um <i>STSGC</i> para Navios de 50k <i>TEUs</i>	42
Figura 13 – Metodologia e Etapas – <i>Workport</i>	46
Figura 14 – Campo das Políticas de inovação.....	48
Figura 15 – Modelo de inovação Aberta para o Ecossistema Portuário	52
Figura 16 – Componentes do Ecossistema de Inovação Portuária	53
Figura 17 – Forças Impulsionadoras da Competição Portuária no século XXI .	57
Figura 18 – <i>Drivers</i> Externos	60
Figura 19 – Evolução Portuária e Criação de Valor.....	65
Figura 20 – Diagrama de Controle Conceitual Aplicável aos <i>Smart Ports</i>	66
Figura 21 – Integração das Dimensões Operacionais e Estratégicas	67
Figura 22 – Revoluções Industriais e suas Inovações.....	68
Figura 23 – Tecnologias Habilitadoras 4.0 em <i>Smart ports</i>	70
Figura 24 – Inovações Tecnológicas Portuárias por Área de Aplicação.....	74
Figura 25 – Etapas do <i>Foresight</i> Propostas por Andersen e Andersen	85
Figura 26 – <i>Foresight Framework</i> Proposto Por Popper	86
Figura 27 – <i>Foresight Framework</i>	87
Figura 28 – O Diamante do <i>Foresight</i> de Popper et al	88
Figura 29 – <i>TRM</i> Multicamadas Genérico.....	89

Figura 30 – Quadro de Ação para o <i>Roadmapping</i>	90
Figura 31 – Modelo de <i>Roadmap</i> Comercial e Tecnológico Integrado	92
Figura 32 – Formatos de <i>Roadmaps</i> por Propósito	93
Figura 33 – Uso da Matriz <i>SWOT</i> no Planejamento Estratégico	94
Figura 34 – Cone do <i>Foresight</i>	100
Figura 35 – Etapas da <i>ATD</i>	101
Figura 36 – Etapas da <i>ATD</i>	102
Figura 37 – Nuvem de palavras dos metatextos da <i>ATD</i>	112
Figura 38 – Fases do <i>TF</i>	115
Figura 39 – Fluxograma da Metodologia de <i>TF</i> Desenvolvida	116
Figura 40 – <i>Pre-Foresight</i>	119
Figura 41 – <i>Foresight</i>	122
Figura 42 – Atores do Sistema Portuário Brasileiro.....	124
Figura 43 – <i>Drivers</i> e <i>micro drivers</i>	130
Figura 44 – <i>TRM</i> do Sistema Portuário Brasileiro	140
Figura 45 – Sistema de Controle para múltiplos <i>RMGs</i>	157
Figura 46 – Eficiência Energética em <i>Smartships</i>	159
Figura 47 – Sistema de Otimização de Rotas Marítimas.....	160
Figura 48 – Investimento em P&D na Indústria de Semicondutores sobre o Porcentual de Receita	164
Figura 49 – Etapa <i>Post-Foresight</i>	165
Figura 50 – Progressão do Plano de Ação por Cenários e Ações	166
Figura 51 – Dispêndio Nacional em C&T por Atividade.....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Evolução do Objetivo Funcional do Sistema Portuário	43
Quadro 2 – Síntese das Perspectivas de Autores Neo-Schumpeterianos	49
Quadro 3 – <i>Drivers</i> Apontados Pela <i>6th K Wave</i>	62
Quadro 4 – Síntese das Revoluções Industriais e suas Inovações	69
Quadro 5 – Consolidação das Tendências Tecnológicas por Modal	76
Quadro 6 – Análise SWOT do Porto de Roterdã.....	96
Quadro 7 – <i>Pre-Foresight</i>	120
Quadro 8 – Grau de Impacto e Ingerência dos Grupos de Atores	125
Quadro 9 – Análise <i>SWOT</i> do Sistema Portuário Brasileiro.....	127
Quadro 10 – Análise dos <i>Micro Drivers</i>	132
Quadro 11 – Aplicações de 5G no Brasil e Depositantes por País	163

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AM	Autoridade Marítima
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
AP	Autoridade Portuária
APEC	Antwerp & Flanders Port Training Center
ASC	Automated Stack Crane
ATD	Análise Textual Discursiva
AWS	Amazon Web Service
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BOG	Gás de evaporação
bps	Bits per second
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CENEP	Centro de Excelência Portuária
CMO	Calado Máximo Operacional
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CRA/SP	Conselho Regional de Administração/São Paulo
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
EDI	Exchange Data interface
EIRMA	European Industrial Research Management Association
EMAP	Empresa maranhense de administração portuária
ERP	Enterprise Resource Planning
ESG	Environmental, Social, and Governance
ETEC	Encomenda Tecnológica
FAP	Fundo de Apoio à Pesquisa
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHz	Giga Hertz
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo

GNL	Gás Natural Liquefeito
Hz	Hertz
I 3.0	Indústria 3.0
I 4.0	Indústria 4.0
I/O	Input/output
ICT	Instituto de Ciência e Tecnologia
IHM	Interface Homem Máquina
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
IoT	Internet of Things
K WAVE	Onda Kondratieff
KPI	Key Performance Indicator
LC	Longo Curso
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MHz	Mega Hertz
MO	Mão de Obra
NBR ISO	Norma Brasileira – International Organization for Standardization
NIPI	Núcleo de Inteligência em Propriedade Industrial
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica
NR	Norma Regulamentadora
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PCS	Port Community System
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PI	Propriedade Intelectual
PIB	Produto Interno Bruto
PMBOK	Project Management Book of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PNL	Plano Nacional de Logística

PROFNIT	Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
RD&I	Research, Develop and Innovation
RFID	Radio Frequency Identification
RI	Revolução Industrial
RMG	Rail Mounted Gantry
ROS	Remote station of operation
RTG	Rubber Tired Gantry
SaaS	Software as a Service
SIPOC	Suppliers, Inputs, Processes, Outputs and Customers
SSTP	Saúde e Segurança no Trabalho Portuário
ST&I	Science, Technology and Innovation
STEEEP	Societal, Technological, Economical, Environmental, Employ and (Geo)Policy
STS	Ship to Shore
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
TECON	Terminal de Contêiner
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit
TF	Technology Foresight
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TOS	Terminal Operating System
TRL	Technology Readiness Level
TRM	Technology Roadmap
TT	Transferência de Tecnologia
UN	United Nations
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNIDO	United nations industrial development organization
UX	User Experience
VA	Veículo Autônomo
WEF	World Economic Forum
LAN	Local-Area Network
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 JUSTIFICATIVA	20
1.2.1 Lacuna a ser preenchida pelo TCC	20
1.2.2 Aderência ao PROFNIT	21
1.2.3 Impacto	21
1.2.4 Aplicabilidade	21
1.2.5 Inovação	22
1.2.6 Complexidade	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 PORTOS	23
2.1.1 Objetivos Funcionais e Componentes Físicos	24
2.1.2 Cadeia Logística	27
2.1.3 Modelos de Administração Portuária	32
2.1.4 Classificação de Portos por Função Logística	36
2.1.5 Evolução Portuária	36
2.2 INOVAÇÃO COMO FATOR DE COMPETITIVIDADE NO SISTEMA PORTUÁRIO	47
2.2.1 Competitividade Portuária	56
2.2.2 Fatores de Vantagem Competitiva em Portos	58
2.2.3 Tendências Tecnológicas Portuárias	59
2.3 TECHNOLOGY FORESIGHT – PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA	82
2.3.1 Technology Roadmap – TRM	88
2.4 ANÁLISE SWOT	93
2.5 MÉTODO DELPHI	98
2.6 CENÁRIOS	99
2.7 REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA (ATD) .	100
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	114
4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE TF DESENVOLVIDA	118
4.1 PRE-FORESIGHT	118
4.2 FORESIGHT	121

4.2.1 Cenário.....	123
4.2.2 Visão.....	139
4.2.3 TRM Multicamadas.....	139
4.3 POST-FORESIGHT	164
4.3.1 Plano de Ação	165
4.3.2 Processo de controle e aprendizado.....	166
5 CONCLUSÃO	168
REFERÊNCIAS.....	173

1 INTRODUÇÃO

O cenário econômico global é caracterizado por megatendências, como mudanças demográficas, urbanização, migração, escassez de recursos naturais, energéticos, alterações climáticas, inovações e mudanças tecnológicas. Deslocando riqueza para mercados emergentes, alterando as rotas comerciais com implicações econômicas, sociais e ambientais significativas em todos os setores incluindo o setor portuário, sendo especialmente impactado por todas essas variáveis (Deloitte, 2020; OCDE, 2014).

Estudos prospectivos demandam, então, uma análise multidimensional para as questões econômicas, sociais e ambientais, quando o propósito é de elaborar uma agenda tecnológica de longo prazo considerando a sinergia necessária entre políticas e economia para atingir seus objetivos.

As Inovações tecnológicas na produção de bens, serviços, novas combinações de negócios e métodos produtivos podem ser usadas como vantagens competitivas (Porter, 1989), Schumpeter (1934) já indicava o potencial das inovações em criar e encerrar ciclos de vida de produtos e serviços, no que chamou de destruição criativa, com impactos diretos e indiretos em todos os setores da economia, o estudo de futuro tecnológico, também conhecido como prospecção tecnológica (*technology foresight*) é um processo para se mapear e analisar o futuro de longo prazo da Ciência, Tecnologia e Inovação – CT&I, economia e sociedade, identificando-se áreas estratégicas de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PD&I, para que se mapeiem as forças e agentes que moldam o futuro e que são consideradas na formulação de políticas, de planejamento e de tomada de decisão (Ribeiro, 2018, p. 26). De forma estratégica, uma metodologia desenvolvida para as especificidades do setor portuário pode subsidiar as ações presentes a fim de direcionar os esforços dos atores envolvidos, recursos humanos e materiais rumo a cenários preferenciais, e ainda mitigar o direcionamento aos cenários críticos e desfavoráveis, o setor portuário sendo um elo da cadeia de suprimentos tem no seu desenvolvimento tecnológico um fator que traz competitividade para a economia do País.

A demandante do presente trabalho foi a Fundação Centro de Excelência Portuária de Santos (CENEP), fundação pública de direito privado, instituída conjuntamente pela Autoridade Portuária de Santos (APS), pelo Conselho de

Autoridade Portuária (CAP) de Santos e pela Prefeitura de Santos em 2007, teve sua previsão legal na Lei de Modernização dos Portos nº 8630 de 1993 (Brasil, 1993). O presente trabalho nasceu em atendimento à missão institucional do CENEP, que entre outros itens inclui o desenvolvimento de pesquisas e geração de tecnologia portuária, conforme o § 2º do artigo 2º:

[...] e a excelência portuária, por meio de ensino em níveis técnico, superior e pós-graduação com o desenvolvimento de pesquisas, inclusive científicas, e geração de tecnologia em temas portuários e ciências do mar, na região metropolitana de influência do Porto Organizado de Santos, no sentido de transformar e manter a região onde se insere o Porto de Santos, em referências nacional e internacional de tecnologia portuária e marítima (PMS, 2009).

O atendimento a esta demanda objetiva desenvolver e aplicar uma metodologia de *technology foresight* (TF) no setor portuário brasileiro, valendo-se do termo metodologia como aquele que, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e ou questões de investigação, conforme apontam Cristiano e Prodanov (2013).

Para Lakatos e Marconi (2009), só é possível fazer ciência com a utilização de metodologia, que contempla o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar os objetivos perseguidos, indicando a rota a ser seguida e corrigindo-a quando necessário (Lakatos e Marconi, 2009, p. 83).

Note-se que conceitualmente, ainda sobre o uso de metodologia como um ferramental tecnológico a ser aplicado aos dados brutos do problema a ser respondido, que após a adição do conhecimento são processados e transformam-se em informações com valor a serem aplicadas na resolução de problemas. Deduz-se então que, uma metodologia de estudo de TF deve incluir, entre outros, processos para a convergência e aumentem e confiabilidade de cada uma das etapas de: coleta, processamento, entrega e controle. Etapas em que ocorrem o fluxo de dados brutos e extraem-se informações de alta relevância para tomada de decisões. Para atingir este objetivo a metodologia a ser desenvolvida será construída por conceitos consolidados trazidos da fundamentação teórica pesquisada, diretrizes das normas técnicas, manuais de gestão, boas práticas observadas na pesquisa de campo e estudos de casos bem-sucedidos especialmente aqueles específicos do setor portuário e adequados à realidade do recorte de pesquisa, o sistema portuário

brasileiro.

Lakatos e Marconi (2013) afirmam que formular o problema consiste em dizer, de maneira explícita, clara, compreensível e operacional, qual a dificuldade com a qual nos deparamos e que pretendemos resolver, limitando o seu campo e apresentando suas características, o desenvolvimento da metodologia para *TF* no sistema portuário brasileiro pretende responder à seguinte pergunta de pesquisa: Qual o cenário tecnológico atual e futuro do sistema portuário brasileiro? Como sugere Gil (2021), ao formular os problemas é necessário certificar-se de que existe tecnologia e ferramentas adequadas para sua solução. Quando não existe, recomenda-se prioritariamente a construção de instrumentos capazes de proporcionar a investigação do problema. É o que se denomina pesquisa metodológica. Neste aspecto o método proposto pretende analisar, escolher e sistematizar os procedimentos técnicos a serem utilizados na coleta e processamento das fontes de evidência.

Para alcançar os objetivos propostos o trabalho está estruturado de forma a revisar e analisar os conceitos necessários ao modelamento da Metodologia de *TF*, iniciando com a revisão de literatura e análise conceitual do objeto de estudo, seus objetivos funcionais, a evolução portuária, das primeiras gerações de portos, as tendências tecnológicas pesquisadas e o estado da arte dos modelos de portos denominados como portos inteligentes, portos 4.0 ou *smart ports*.

Diversos setores passaram a compreender que as inovações tecnológicas em processos e produtos geram diferencial competitivo por agregar valor às entregas, será explorado o histórico das grandes revoluções industriais para que se tenha plena compreensão do caminho que foi percorrido, e como esse aprendizado pode ser projetado ao *TF*.

A escolha da técnica de *TF* se deve ao fato de ser uma das mais enfatizadas, que instrumentaliza sistematicamente a exploração do futuro, por meio da construção de visões e identificação de políticas (Saritas; Burmaoglu, 2015).

A utilização desta técnica converge com simultaneidade políticas e estratégias, oferecendo suporte para a inovação nos domínios gerenciais e de transferência tecnológica, envolvendo cenários e atores do processo de mudança (Unido, 2005a).

1.1 OBJETIVOS

Objetiva-se responder o problema de pesquisa exposto projetando um objetivo geral e fragmentando-o em específicos, de maneira que, uma vez atendidos estes objetivos obtenha-se de forma dedutiva as respostas aos questionamentos que suscitaram a pesquisa.

Ficam os objetivos explicitados como:

1.1.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia desenvolvida para o *technology foresight* no setor portuário brasileiro.

Este objetivo visa aplicar à metodologia desenvolvida os dados coletados do objeto de estudo e analisar a confiabilidade e eficiência do método por meio da análise dos processos das entradas e da conformidade e plausibilidade das saídas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver a metodologia de *TF*.
- Elaborar uma matriz *SWOT* do sistema portuário brasileiro.
- Construir o cenário de futuro tecnológico do sistema portuário brasileiro.
- Elaborar um *Technology Roadmap* como difusor do cenário construído.

Este conjunto de objetivos visa sistematizar as fases de coleta, análise e apresentação, baseado no referencial teórico pesquisado para cada item específico, trazendo confiabilidade e endereçando a(s) técnica(s) mais indicada(s) ao objeto de estudo.

Baseado nas fontes de evidência será levantado o cenário tecnológico atual do sistema portuário, seus atores, *drivers*, matriz *SWOT* e *TRM* que suportarão o cenário de futuro tecnológico e suas rotas plausíveis. Os atores possuem papel fundamental como *stackholders*, já os *drivers* são vetores que apontam a direção das tendências tanto das oportunidades como dos desafios apresentados.

O *TRM* além de ser a representação visual do cenário projetado, seu processo de construção denominado como *roadmapping* contribui com o mapeamento e análise

das diversas rotas possíveis com as tecnologias críticas para se atingir o cenário futuro (Ribeiro, 2018a).

O desenvolvimento da matriz *SWOT* faz o levantamento, mapeia e apresenta também de forma visual as forças direcionadoras dos cenários para o *TRM*, sua elaboração portanto possui um caráter de análise do estudo em questão (Fernandes, 2012).

1.2 JUSTIFICATIVA

Um tema de pesquisa deve considerar sua relevância, originalidade e exequibilidade (Castro, 2006).

Quanto à relevância, o tema pretende, por meio de método científico consolidado e adequado às especificidades do objeto de estudo, entregar ferramental prático para o correto mapeamento e análise de futuros tecnológicos no setor portuário, responsável só em 2021 pela movimentação de 1.214.418.256 (um bilhão, duzentos e quatorze milhões, quatrocentos e dezoito mil, duzentos e cinquenta e seis) toneladas de produtos da corrente de comércio nacional (ANTAQ, 2022).

O tema é original pelo objeto de estudo escolhido. Mesmo sendo o setor portuário de extrema importância econômica, são poucos os estudos prospectivos publicados no Brasil. Por este fato é oportuno desenvolver com método adequado e específico o *TF* proposto, para que entregue convergência e confiabilidade de análise, dada a complexidade do sistema portuário em estudo.

A exequibilidade será provida, em parte, pelo apoio da demandante, Fundação Centro de Excelência Portuária de Santos – CENEP, Autoridade Portuária de Santos, que por meio do suporte na coleta de fontes de evidência e disponibilização de especialistas dos seus quadros técnicos, assim como do Labtrans da UFSC que igualmente disponibilizou sua estrutura técnico-científica.

1.2.1 Lacuna a ser preenchida pelo TCC

O setor portuário é um elo de grande importância na cadeia de suprimentos e seu desenvolvimento tecnológico impacta na eficiência logística de todos os setores da economia, face às demandas mundiais de conformidade socioambientais, de

segurança e produtividade (Naniopoulos, 2000), ressalta-se então, a necessidade de criação de uma agenda adequada englobando políticas públicas, assim como iniciativas públicas e privadas de CT&I.

Essa visão pode ser suportada pela elaboração de prospecção tecnológica que mapeie e análise tecnologias, produtos, rotas e atores dos cenários projetados pelo *TF*. São poucos os estudos publicados de prospecção tecnológica no Brasil e específicos para o setor portuário, com isso pretende-se preencher essa lacuna do conhecimento.

1.2.2 Aderência ao PROFNIT

O trabalho proposto encontra aderência ao programa por utilizar como referencial teórico de seu desenvolvimento os conceitos de prospecção tecnológica, transferência de tecnologia, inovação, políticas de CT&I, entre outros, como princípios norteadores da metodologia desenvolvida, assim como, especificamente seus entregáveis são baseados em técnicas abrangidas pelos temas citados.

1.2.3 Impacto

O impacto da metodologia poderá ser expresso no melhor entendimento e análise da visão de futuro tecnológico para o setor em estudo, o desenho de rotas tecnológicas para os mercados previstos, as inovações como fator de competitividade e principalmente a sistematização da prospecção tecnológica com sólidas bases conceituais e científicas. A ausência de estudos de *foresight* com bases metodológicas e com uma visão sistêmica para o setor gerou uma demanda real da Fundação Centro de Excelência Portuária de Santos – CENEP, que apoia este trabalho com a facilitação e fornecimento de fontes de evidência.

1.2.4 Aplicabilidade

O trabalho pretende tornar a aplicação do *technology foresight* mais sistemático a partir da metodologia proposta pela pesquisa, podendo servir de base ainda para outros setores ou mesmo recortes específicos do setor portuário.

1.2.5 Inovação

O trabalho possui alto grau de inovação na metodologia de *TF* para o sistema portuário desenvolvida; porém, vale-se de ferramental consolidado para instrumentalizar seus procedimentos. Seu caráter inovativo recai sobre a forma de emprego das técnicas, ferramentas e metodologias utilizadas e não propriamente na construção destas. Optou-se por esta abordagem por entender-se que a utilização de ferramentas já consolidadas traria maior confiabilidade nos procedimentos do método desenvolvido.

1.2.6 Complexidade

O objeto do estudo é complexo pela sua natureza diversa e interação de múltiplas variáveis e análise de áreas multidisciplinares. Os especialistas consultados para a coleta de dados precisam, além do conhecimento tecnológico da sua área, dominar as especificidades das interações operacionais, impactos de *inputs e outputs* do sistema portuário para realizar com confiabilidade o *technology foresight* proposto. Além disso, as informações são dispersas e muitas têm seu sigilo previsto pela legislação por envolver dados sensíveis ou estratégicos de entes públicos e privados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo serve como alicerce conceitual utilizado para o desenvolvimento deste trabalho e sua lógica baseia-se na revisão da literatura e pesquisa de campo que satisfaçam os objetivos de pesquisa, o desenvolvimento da metodologia de *TF* e sua aplicação no objeto de estudo: o sistema portuário brasileiro.

A revisão da literatura iniciou pelo conceito do próprio objeto de estudo, investigando seu objetivo funcional, características geográficas, componentes físicos, tipos de serviços prestados, tipos de cargas operadas, modelos de administração e sua interação com a logística. Esse levantamento será levado em consideração quanto aos impactos e potenciais de adoção de novas tecnologias ou arranjos de negócios, expandiu-se a pesquisa de referencial teórico do sistema portuário aos seus subsistemas com o objetivo de construir o cenário do *TF* com a máxima abrangência e precisão.

A partir da compreensão do objeto de estudo, seus sistemas, subsistemas e interações, partiu-se para a construção da metodologia do *TF* que melhor atendesse o sistema pesquisado, sendo realizada a revisão da bibliografia que evidenciasse o modelo adequado dentre a ampla gama de técnicas disponíveis, construindo assim o modelo próprio do presente trabalho para a sistematização da coleta de entradas, processos e suas saídas no *TF*. Para este fim também foram pesquisados trabalhos de *TF* em sistemas portuários consolidados e de referência em avanço tecnológico, adequando-se as práticas utilizadas no recorte da pesquisa, o sistema portuário brasileiro, dadas suas especificidades, limitações e potencialidades.

2.1 PORTOS

Esta seção dedica-se a revisar a literatura do objeto de estudo, iniciando pelo seu objetivo funcional, suas características físicas e componentes, sua interação com a cadeia logística, seus modelos de administração, por função logística, assim como por tipo de terminal. Ao final da seção será abordada a evolução portuária, a inovação como fator de competitividade no setor portuário, a competição portuária, os fatores de vantagem competitiva nos portos e por fim as tendências tecnológicas portuárias.

2.1.1 Objetivos Funcionais e Componentes Físicos

O objetivo funcional primário de um porto é ser o elo para cargas e passageiros entre terra e água, remonta sua origem milenar aos fenícios e impulsionou a própria expansão da humanidade, da cultura e do comércio no mundo.

A definição do termo “porto” é variável na literatura, dependendo do propósito de sua definição, seja operacional, empresarial, física, geográfica, legal, etc. Diversos órgãos e agências governamentais debruçaram-se no estudo das definições, classificações e nomenclaturas aplicáveis, assim como o papel desempenhado pelos portos em várias regiões do mundo (Bichou; Gray, 2005), entre as principais instituições que realizaram estudos neste sentido estão: UNCTAD (2022); US MARAD (1978, 1999); World Bank (2001, 2003a, 2003b, 2007). Destacam-se como importantes referenciais os trabalhos publicados pela Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD, 2022; Naniopoulos et al, 2000).

Um conceito macro analítico de porto pode ser expresso por ativos geográficos, físicos e corporativos, referindo-se a conexões hidroviárias, podendo estar relacionado a um oceano, mar, lago, rio, vias navegáveis interiores e/ou locais de canal (Wood et al., 2002).

Outras nomenclaturas de portos como “porto seco” e “porto interior” também são atribuídas e não estão relacionadas ao contato físico com o meio aquaviário, também são achados termos como “portos multimodais e intermodais”, conceitos amplamente utilizados na América do Norte e em outros lugares combinando a interface aquaviária com outros modais de transporte terrestre e ou aéreo. Os termos intermodal e multimodal diferem sob o aspecto legal ou operacional atribuídos em legislação local própria. (Bichou; Gray, 2005). Na literatura brasileira encontra-se a definição de elo de importância na cadeia logística como terminal multimodal (Alfredini; Arasaki, 2019, p. 430).

O correto entendimento deste objetivo funcional é importante para que se delimite o recorte de pesquisa e concentre-se esforços em soluções tecnológicas que atendam a esses objetivos funcionais, ainda que pelo próprio caráter de elo entre outros entes da cadeia logística esta fronteira se torna permeável no que se refere às tecnologias aplicáveis.

Os portos podem ser vistos como uma plataforma logística e atuam como uma interface dos centros de consumo e produção provendo continuidade entre os modais terrestres e aquaviários. É no ambiente portuário que se cruzam os processos dos inúmeros intervenientes deste sistema, desde os operadores, transportadores, terminais, agentes, autoridades regulatórias, órgãos públicos, municipalidade entre outros (Akabane; Gonçalves, 2008).

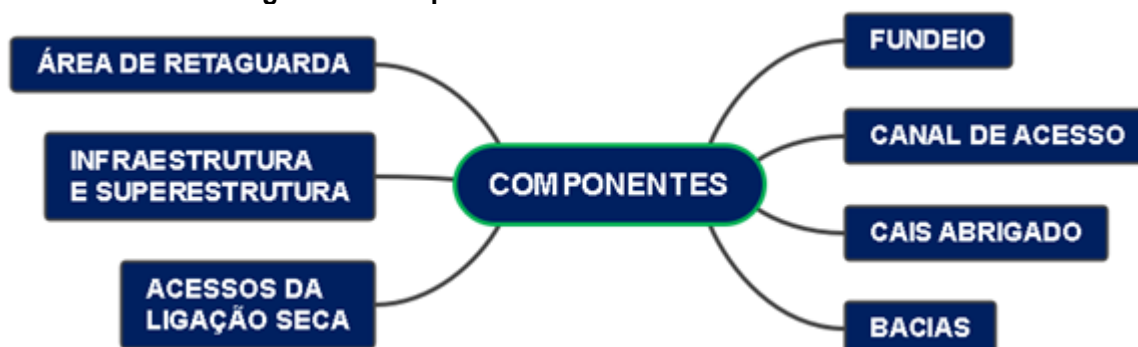
Nota-se que a própria existência de um porto pressupõe uma integração de muitos agentes, a nova reorganização dos espaços produtivos e a crescente demanda por escalar os níveis de produção, gerando movimentações de carga cada vez maiores e mais impactantes socioeconomicamente ao entorno dos portos, expandindo a fronteira portuária para os municípios adjacentes, impondo uma condicionante de inclusão destes nas soluções tecnológicas portuárias (Monié; Vidal, 2006).

Analisando ainda o objetivo funcional dos portos sob o aspecto de seus componentes físicos, Alfredini e Arasaki (2019, p. 430) propõem os seguintes componentes:

- **Abrigo:** Como provedor das condições de acesso e movimentações de carga.
- **Profundidade e Acessibilidade:** Lâmina d'água e bacias de espera e evolução com dimensões compatíveis aos navios operados.
- **Área de Retroporto:** Áreas terrestres com dimensões próprias para acomodar as cargas e estruturas administrativas, assim como passageiros.
- **Acessos:** Acesso aos modais terrestres, aquaviários e aeroviários, destacando-se ainda uma infraestrutura apropriada para a gestão logística.
- **Impacto Ambiental:** Atendimento às conformidades socioambientais.

A Figura 1 apresenta de forma macro analítica os componentes físicos do sistema portuário sob o aspecto da estrutura funcional dos processos.

Figura 1 – Componentes Físicos do Sistema Portuário

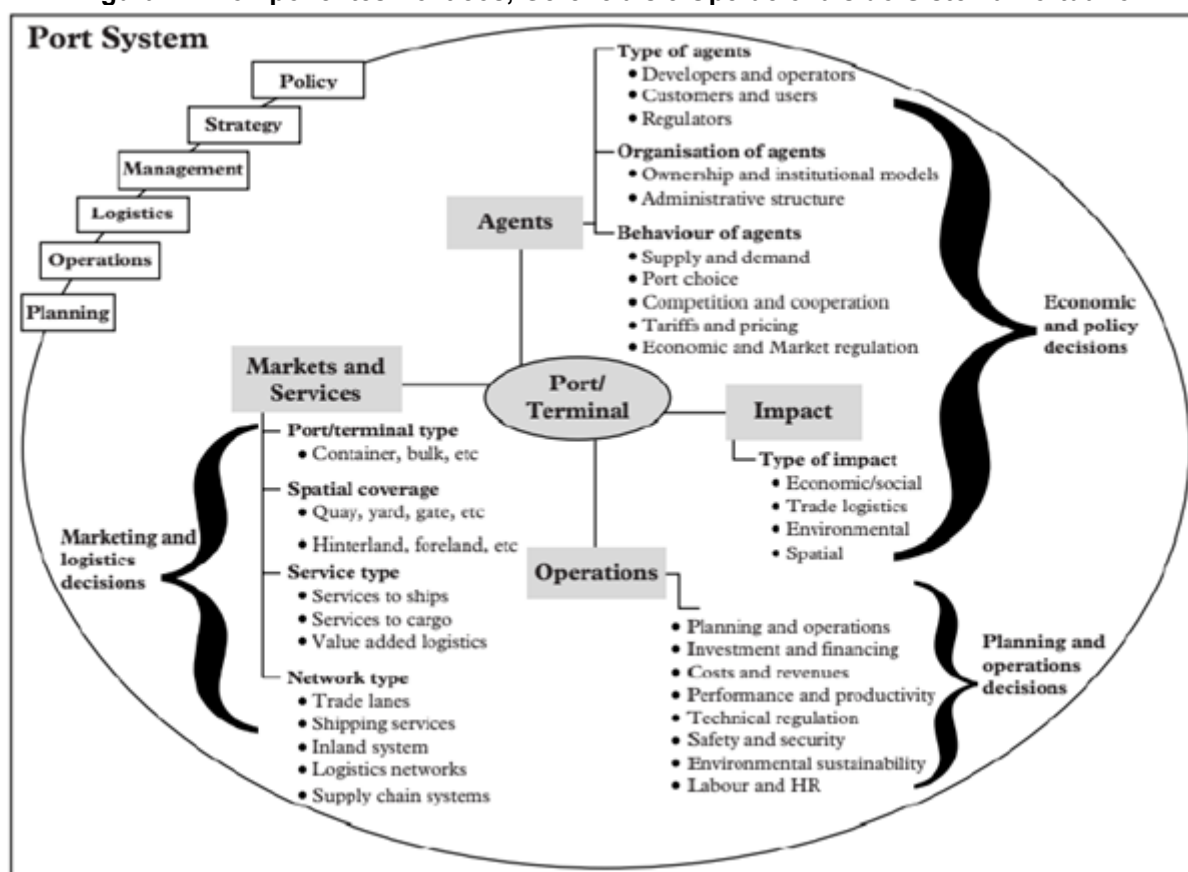


Fonte: Elaborado pelo Autor a partir do texto de Alfredini e Arasaki (2019, p. 430).

A decomposição dos componentes físicos ilustrada na Figura 1 em processos subsidia o planejamento operacional integrado, que é fundamental para garantir a alta produtividade e a eficiência na locação dos recursos humanos, materiais e tecnológicos necessários na operação, no atendimento aos critérios de segurança e conformidade ambiental (Alfredini; Arasaki, 2019).

Bichou (2013) propõe uma representação de porto como um sistema ilustrado na Figura 2, que a partir de seus agentes realizam ações de planejamento, operações logísticas, de gestão, estratégicas e políticas.

Figura 2 – Componentes Políticos, Gerenciais e Operacionais do Sistema Portuário



Fonte: Bichou, 2013, p. 28.

Pode-se verificar que o porto é um sistema de muitos processos dispostos em camadas que vão das operacionais às estratégicas e/ou comerciais, a fronteira deste sistema interage ainda com a cadeia de suprimentos dos fornecedores e usuários deste sistema.

Tomando-se como base o mapeamento dos processos pelo seu objetivo funcional e por seus agentes dentro do sistema portuário, esse mapeamento deve servir como indicador das potenciais tecnologias a serem utilizadas nos mesmos.

Investimentos em recursos tecnológicos e inovação potencializam a capacidade portuária e garantem a melhoria da eficiência. Novas tecnologias de monitoramento, análise e controle implantadas com o devido modelamento matemático em concordância com a teoria de controle proporcionam desempenho ótimo ao sistema (Fernandez Cara; Zuazua, 2003). Esse desempenho ótimo proporciona ainda uma aceleração do fluxo de cargas no berço, nos armazéns e nos demais processos desta cadeia. Na visão logística, o sistema portuário passou a ser um ponto estratégico, dado sua complexidade para o desenvolvimento da cadeia logística no comércio exterior e presença de vários atores da cadeia na zona portuária. Isso vem atraindo cada vez mais novos serviços para zonas portuárias, onde os mercados estão agregando mais valor aos seus produtos nestas regiões (Bichou, 2013).

2.1.2 Cadeia Logística

Logística pode ser definida como um sistema para otimizar os processos de comercialização e distribuição de bens e serviços. As empresas buscam diferencial de competitividade focadas em seu desempenho produtivo e de distribuição (Fleury; Wanke; Figueiredo, 2000). Dessa forma, a coordenação e integração destes processos e o desenvolvimento de inovações tecnológicas ou modelos organizacionais que entreguem valor ao consumidor final acarretam vantagens competitivas dessas empresas no mercado.

Os principais componentes da logística são: estoque, armazenagem e transporte, os negócios apresentam vantagens estratégicas e operacionais com a adoção da logística, de acordo com Ballou (2007) pode-se listar entre os principais benefícios da adoção de logística:

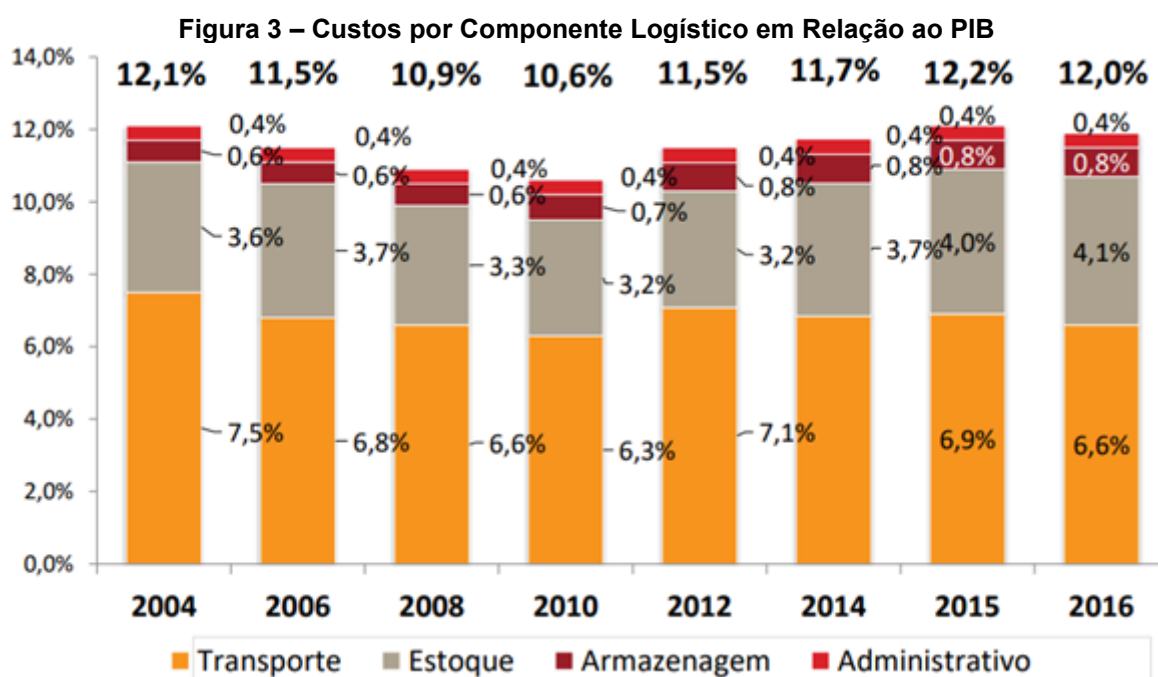
- redução do custo e menor capital exigido;
- acesso à tecnologia e as habilidades gerenciais;
- serviço ao cliente melhorado;
- vantagem competitiva, por meio do aumento de penetração no mercado;
- aumento do acesso à informação para planejamento;
- riscos e incertezas reduzidos.

O *World Economic Forum* (2016) consonante aos benefícios já listados por

Ballou (2007) indicam os benefícios das inovações advindas da transformação digital:

- Previsões de demanda direcionadas e segmentadas por diferentes perfis de clientes. Estimam-se melhorias nas previsões de demanda futura de 10 a 20%, aumento das taxas de aproveitamento veicular em 5%.
- Otimização e redução de estoques, em até 20%.
- Otimização da manutenção de ativos (veículos ou infraestruturas) com melhoria na predição, programação e disponibilidade do ativo. Estima-se redução de custos de manutenção em até 30%, e a incidência de falhas em 75%.
- Otimização de rotas, reduzindo os custos de 5 a 10% e os prazos de entrega em até 10%.

Na Figura 3, Ilos (2017) apresenta a estratificação do custo dos processos de: transporte, estoque, armazenagem e administrativo, em relação ao PIB dos componentes da logística e sua progressão no período de 2004 a 2016.

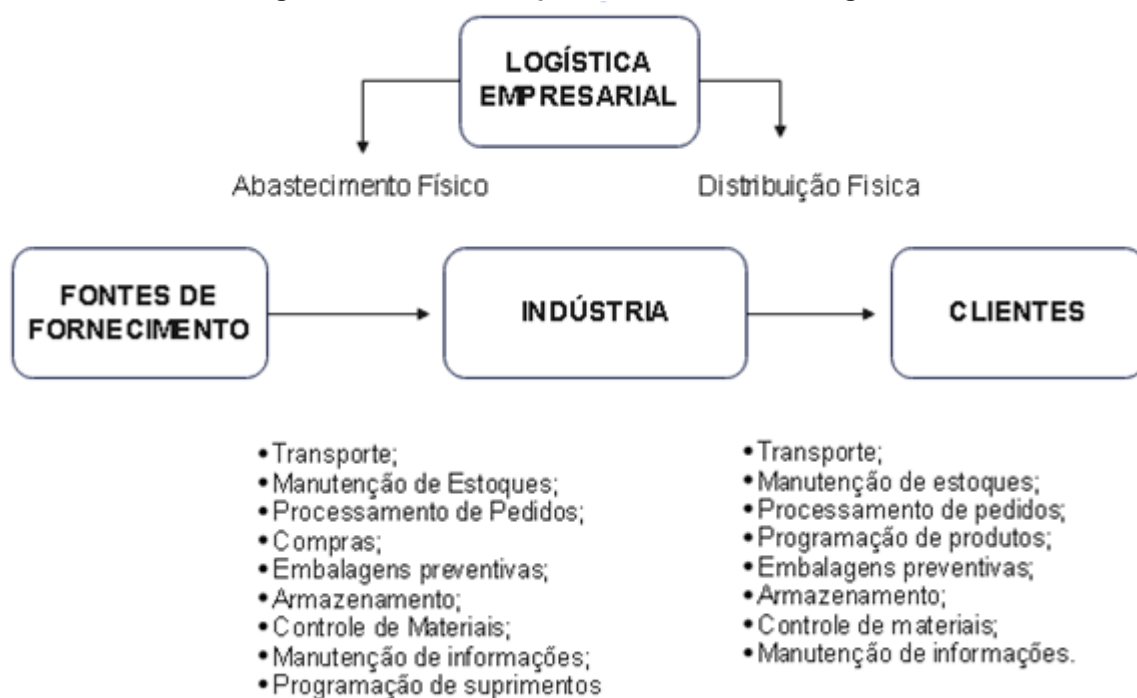


Pode-se projetar por esta estratificação o potencial de economia de custos dos componentes da logística com implantação de inovações e soluções tecnológicas que tragam maior eficiência, seja na geração de energia ou otimização da análise de dados para tomada de decisão.

Observa-se na Figura 4 o fluxo de suprimentos assim como o de informações da cadeia logística (Ballou, 2007), o componente de transporte pode ser suprido por

diversos modais, requerendo-se uma análise de requisitos como: distância, custo, prazo, recursos disponíveis, tipo, volume, peso da carga, entre outros (Lopez, 2000, p. 36).

Figura 4 – Fluxo De Suprimentos Da Cadeia Logística



Fonte: Ballou, 2007

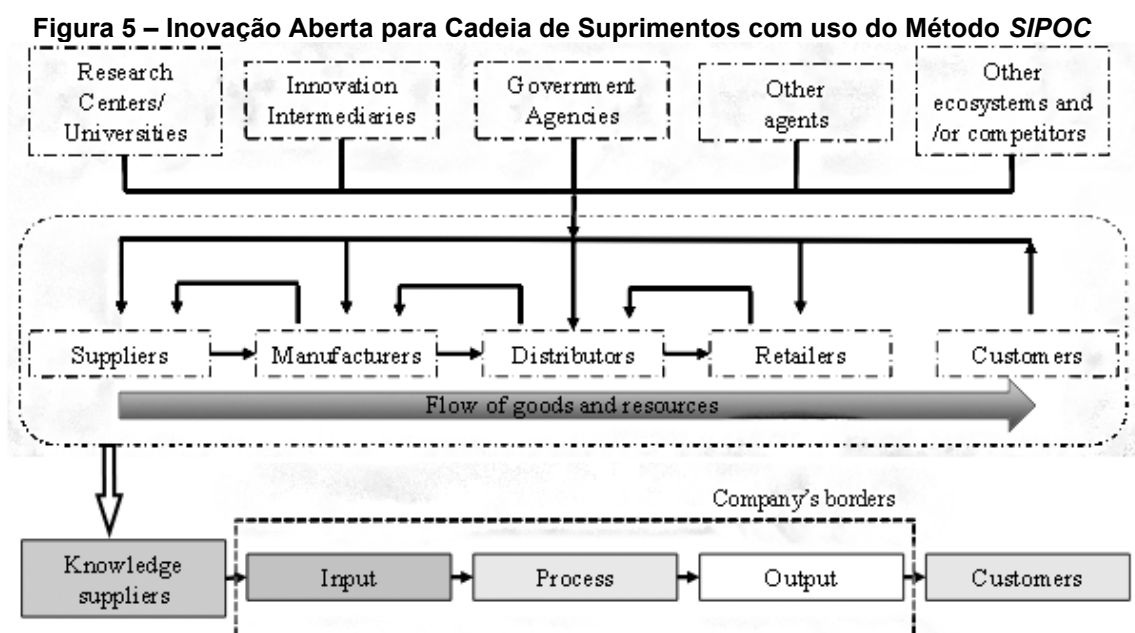
O levantamento dos processos da cadeia de suprimentos, suas entradas e saídas podem ser sistematizados de maneira eficaz pelo método *SIPOC*¹, auxiliando na identificação das interações-chave dos processos da cadeia de suprimentos e seu fluxo de materiais e informações, sendo uma ferramenta apropriada na análise de valor a ser agregado pelos processos por meio de produtos e serviços inovadores.

O uso de um *framework* de inovação aberta para cadeia de suprimentos baseado na metodologia *SIPOC* foi proposto por Souza et al. (2022) considerando-se o levantamento dos processos e atores envolvidos e suas interações, na Figura 5 verifica-se que o fluxo de produtos e informações que passa pela cadeia de suprimentos e seus envolvidos gera potenciais trocas (*inbound/outbound*)² de conhecimento dentro e fora da fronteira do sistema, esse conhecimento pode ser endereçado aos processos e atores levantados pelo método *SIPOC* de acordo com

¹ *SIPOC*: Acrônimo do inglês *suppliers, inputs, processes, outputs and customers*, onde cada um dos itens coincide com o fluxo de atividades, envolvidos, suas interações e atribuições nos processos.

² *Inbound/outbound*: do inglês entrada/saída, utilizado no contexto do fluxo de informações que trafegam em via dupla através da fronteira do sistema.

as especificidades das entradas, saídas, processos e atores envolvidos e o tipo de inovação potencialmente demandada.



Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de Souza et al. (2022).

Verifica-se no *framework* proposto, que ao longo do fluxo de processos da cadeia de suprimentos vários atores do ecossistema de inovação podem atuar e seu perfil pode variar de acordo com a etapa do processo. O conhecimento adquirido fora das fronteiras da empresa pode ser assimilado pelo conceito de inovação aberta e também no fluxo inverso o conhecimento gerado dentro das fronteiras do sistema pode alimentar o ecossistema de inovação. Conclui-se que o conceito de inovação aberta pressupõe o fluxo do conhecimento em via dupla (*inbound/outbound*) e que a fronteira do sistema em que estão contidos os processos seja permeável (Souza et al., 2022).

Viederyte (2016) considera que com base nas atividades logísticas, as inovações tecnológicas, que influenciam principalmente a existência da inovação na logística podem ser classificadas em quatro categorias:

- **Tecnologia de aquisição de dados:** A tecnologia avançou de forma a dotar os dispositivos capazes de coletar uma variedade de dados físicos como localização, tempo, velocidade, peso, umidade, luminosidade, ou seja, tudo que se tiver interesse em controlar poderá ser coletado, digitalizado e transmitido em tempo real aos sistemas de controle logístico.

- **Tecnologias de informação:** A digitalização de dados tornou possível o processamento destes pelos microprocessadores com poder cada vez maior em velocidade e precisão, tornam os sistemas de controle logístico ferramentas indispensáveis de planejamento e controle.
- **Tecnologias de armazenamento:** Dispositivos como sensores de presença e movimento, assim como células de armazenamento dotadas de controle de peso e volume tornaram as tecnologias de armazenamento passíveis de planejamento, controle e simulações de cenários ótimos de desempenho, na sua movimentação e capacidade estática e dinâmica de atendimento da cadeia de suprimentos.
- **Tecnologias de transporte:** O controle e monitoramento de equipamentos de transporte e cargas foi beneficiado com inúmeras tecnologias principalmente as digitais como *IoT*³, *blockchain*⁴, *RFID*⁵ entre outras, que agregam ao transporte confiabilidade e rastreabilidade.

Portos são sistemas integrantes de cadeias de valor, e contribuem para a competitividade das cadeias de suprimentos (Robinson, 2002), inovações tecnológicas que proporcionem fontes energéticas mais econômicas e sustentáveis acarretarão redução de custos e atendimento às crescentes demandas ESG⁶ e as mudanças impostas pelas megatendências globais como escassez de fontes energéticas e mudanças climáticas (OCDE, 2014).

Na Figura 6 é demonstrada a estratificação das fontes energéticas de transporte brasileiro e seu percentual de uso por modal. Na figura à esquerda ilustra-se o tipo de combustível e seu percentual de acordo com o modal de transporte.

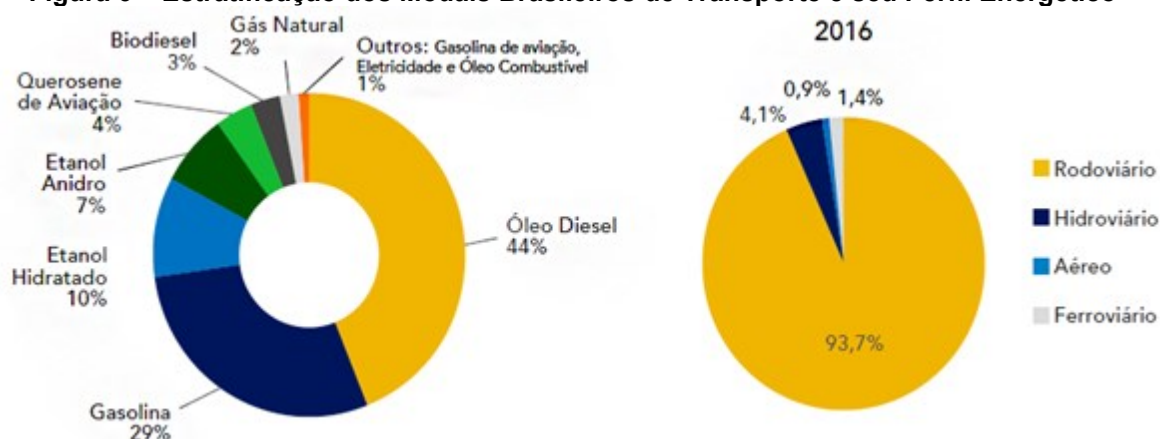
³ IoTs: Internet of Things;

⁴ Blockchain: Rede descentralizada de registro de dados criptografados;

⁵ RFID: Radio Frequency Identification;

⁶ ESG: *Environmental, social, and corporate governance*.

Figura 6 – Estratificação dos Modais Brasileiros de Transporte e seu Perfil Energético



Fonte: Roitman e Silva (2018, p. 5).

Observa-se o domínio do modal rodoviário e consequente uso de combustíveis fósseis como o óleo diesel e a gasolina. A implantação de uma matriz mais equilibrada de transporte e o investimento em uma transição energética para fontes mais sustentáveis trará economia de custos e sustentabilidade, cabe observar que este levantamento foi realizado em 2016 e apesar do percentual de uso dos modais não ter se alterado significativamente uma tendência de uso de fontes mais limpas e descarbonizadas tem sido observada no período.

2.1.3 Modelos de Administração Portuária

Diversos fatores influenciam o modelo de administração e titularidade portuária, como a estrutura socioeconômica do país, histórico de desenvolvimento, localização do porto, tipos de cargas movimentadas e são definidos conforme o tipo de serviço prestado pelo setor público ou privado, propriedade das instalações, responsabilidades administrativas e serviços operacionais (Bichou; Gray, 2005). No Brasil, existem portos com titularidade pública federal, estadual, municipal e privadas.

Os portos podem ser classificados nos seguintes modelos (World Bank, 2003a, p. 140):

- **Public Service Port:** predominantemente público sendo o terreno, a infraestrutura e superestrutura de propriedade da autoridade portuária, que também realiza as funções de operação, regulação e administração do porto.
- **Tool Port:** divisão das atividades operacionais, em que a autoridade portuária é proprietária, administrando a infraestrutura e superestrutura do porto. As

operações de equipamentos são realizadas pelos próprios trabalhadores da autoridade portuária, enquanto as operações de cais e pátio são executadas por empresas privadas.

- **Landlord Port:** a autoridade portuária, como representante pública, mantém a titularidade do porto e arrenda os terminais para operadores privados. A manutenção da infraestrutura básica do porto, incluindo aspectos como acessos viários, canais de navegação, sinalização marítima e berços de atracação, é de responsabilidade da autoridade portuária, enquanto os operadores privados são responsáveis por adquirir, instalar e operar os próprios equipamentos facilitando o atendimento das demandas operacionais de mercado (Vieira; Gilberto; Mota, 2018).
- **Private Service Port:** Neste modelo, o porto é inteiramente administrado pelo setor privado, sendo responsável tanto pela gestão quanto pelas operações portuárias.

Os modelos de administração podem ser bem denotados pelas atribuições dos entes públicos e privados em relação às atividades desempenhadas nos portos conforme ilustrado na Figura 7. Entes públicos possuem maior morosidade e burocracia no investimento em desenvolvimento e implantação de inovações tecnológicas, principalmente quando existe risco em relação ao sucesso do seu desenvolvimento e implantação. Por outro lado, inovações disruptivas e com alto grau de incerteza tecnológica tiveram seus primeiros investimentos realizados pelo estado, a exemplo da internet.

Figura 7 – Atribuições dos Setores Público x Privado na Administração Portuária

Port Activity	Port Administration	Nautical Management	Nautical Infrastructure	Port Infrastructure	Superstructure (equipment)	Superstructure (buildings)	Cargo Handling Activities	Pilotage	Towage	Mooring Services	Dredging	Other Functions
Public Service Port												
Private Service Port												
Tool Port												
Landlord Port												

Public Responsibility Private Responsibility

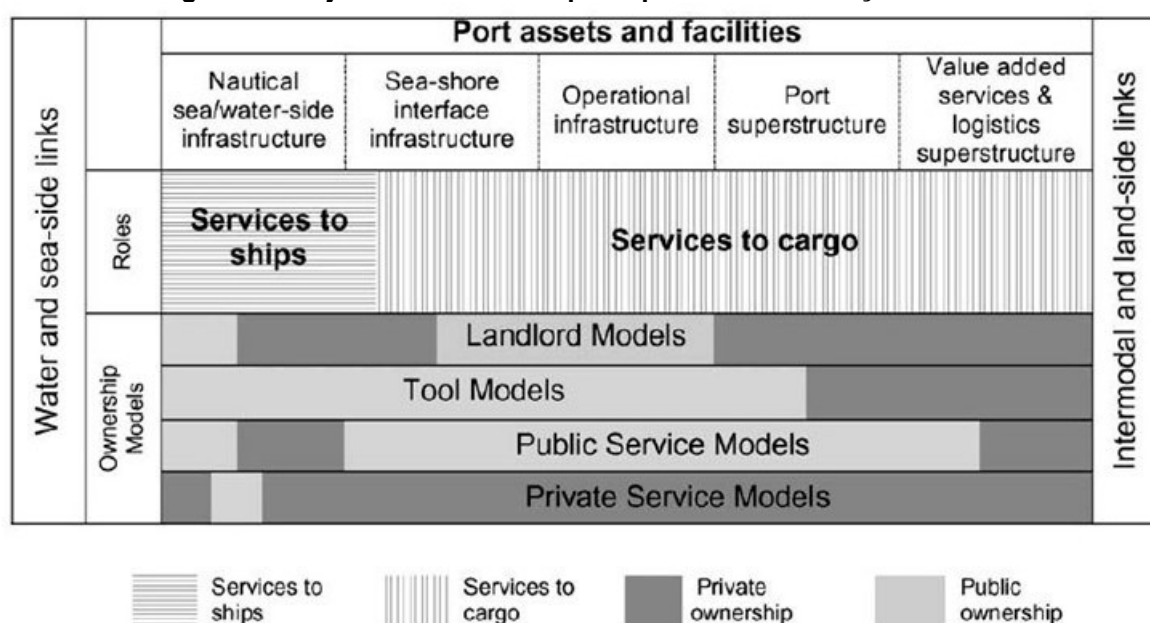
Fonte: World Bank, 2003, p. 13.

Em função do impacto da agilidade na tramitação de investimentos em infraestrutura e tecnologia a escolha do modelo de administração portuária deve levar em consideração esses fatores na sua adoção. Não existe um modelo melhor e sim mais adequado ao cenário no qual está inserido, sendo ainda importante que se avancem em políticas públicas que destravem as ações no modelo de administração pública portuária para que haja um equilíbrio de forças competitivas no setor entre os modelos.

O *Framework for Port Reform* (World Bank, 2003a) associa atividades essenciais da autoridade portuária, de acordo com modelo de gestão e quais são atribuídas ao setor público ou privado.

Outro aspecto a considerar, ilustrado na Figura 8, é a disponibilidade dos ativos colocada a serviço das operações portuárias e sua titularidade, assim como a oferta de serviços aos clientes em ambos os lados da operação (terrestre/aquaviário), analogamente entes públicos e privados possuem tratamento distinto na aquisição, desenvolvimento e adoção de inovações tecnológicas para a prestação de serviços.

Figura 8 – Objetivos Funcionais por Tipo de Administração Portuária



Fonte: Bichou; Gray, 2005.

Verifica-se que o modelo mais equilibrado em relação às atribuições é o de *landlord* enquanto nos modelos público e privado a concentração de atribuições é bastante evidente.

A natureza jurídica da Administração Portuária possui grande influência no desenvolvimento e implantação de práticas de inovação observadas pela maior aderência à inovação na cultura organizacional nos modelos privados (Schreiber et al., 2022).

A autoridade portuária – AP, é um ator-chave na configuração de um ecossistema de inovação. Nas últimas décadas, o papel da AP deixou de ser apenas o gestor da infraestrutura para assumir outras funções, como o desenvolvedor do *cluster* portuário (Cahoon; Pateman; Chen, 2013).

O envolvimento da administração portuária na governança do ecossistema de

inovação é de extrema importância, pois o sistema portuário é diretamente influenciado e afetado pelas ações da AP ou da empresa responsável pelo porto. Isso também se aplica ao surgimento e desenvolvimento de um ecossistema de inovação. É importante que a AP desempenhe os papéis de conduzir a busca por inovação e ser responsável pela governança do ecossistema, seja por meio do convite ou incentivo a novos participantes para se integrarem o ecossistema, da conexão de interesses ou do investimento direto em infraestruturas de suporte à inovação (BID, 2023).

2.1.4 Classificação de Portos por Função Logística

Outro fator relevante para classificação dos portos se refere ao papel logístico que exerce diante da cadeia de suprimentos (*Supply Chain*) no qual está inserido. (Branch, 1986).

Deste modo, algumas destas classificações são apresentadas:

- **Hub Ports:** são definidos como portos roteadores, concentradores de cargas e de linhas de navegação, inseridas no processo de ganho de escala em volume de cargas transportadas.
- **Feeder Ports:** são definidos como portos alimentadores com sistema *feeder ship* que recebem e distribuem cargas para outros portos, como para os portos *hub*.
- **Transit Ports:** são definidos como portos de trânsito, com base de transferência de cargas entre modais.
- **Domestic Ports:** são definidos como portos domésticos inseridos em uma escala local ou regional.

2.1.5 Evolução Portuária

Este tópico tem como objetivo analisar a evolução portuária por meio do tempo, como o surgimento de novas tecnologias semeou o setor, que com a adoção destas passaram a ofertar soluções tecnológicas em novos produtos e serviços aos usuários, diferenciando-se da concorrência e fazendo surgir uma geração portuária claramente distinta da anterior. A observação dos estudos já realizados servirá como

parâmetro para o *TF* proposto dentro da realidade local brasileira, recorte da pesquisa.

A classificação de gerações portuárias é variável na literatura, levando-se em conta muitos fatores como: capacidade de movimentação, modelo de gestão, eficiência, capacidade de agregar valor à operação, capacidade de operar tipos diversos de navios e carga. Quanto maior a diversificação das funções desempenhadas e ofertadas por um porto e inovações implantadas, mais avançado será seu centro de distribuição atendido (Kaliszewski, 2018).

A Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento propôs um modelo teórico de classificação de portos marítimos e da estratégia de desenvolvimento portuário. As gerações foram classificadas, conforme ilustrado na Figura 9 de acordo com o papel desempenhado pelo porto e a utilização de inovações em sistemas, equipamentos e modelos de negócio (UNCTAD, 1999):

Figura 9 – Gerações Portuárias e suas Inovações



Fonte: Adaptado de Kaliszewski, 2018; Molavi; Lim; Race, 2020; UNCTAD, 1999.

⁷ EDI: *eletronic data interchange*;

⁸ MO: Mão de obra;

⁹ SSTP: Segurança e Saúde no Trabalho Portuário.

A 1ª Geração é caracterizada por ser principalmente a interface entre água/terra, sua operação mecanizada e ainda fortemente dependente de mão de obra braçal, com pouca ou nenhuma integração entre a municipalidade e os centros de distribuição; (2ª Geração) início da integração dos centros de distribuição e da relação porto-cidade; (3ª Geração) aumento das operações multimodais e ascensão global das operações de contêineres, com a inauguração do primeiro terminal de contêineres do Brasil em 1981, no porto de Santos, introdução do *EDI (Electronic Data Interchange)* como protocolo de troca de informações; (4ª Geração) marcada por alianças globais dos principais *players* do mercado, formando fortes conglomerados, crescente informatização de sistemas gerenciais e operacionais; (5ª Geração) automação característica da indústria 3.0, aumento do nível de especialização da mão de obra, aumento das normas de saúde e segurança do trabalho portuário e conformidades ambientais.

Verifica-se que as inovações também ocorreram no modelo de negócio do sistema portuário, evoluindo na maior integração com as municipalidades e indústrias de sua hinterlândia e na quinta e atual geração houve forte influência das inovações decorrentes da automação 4.0, impactando inclusive na demanda de mão de obra altamente qualificada.

Uma sexta geração de portos num horizonte de 50 anos à frente foi proposta por Kaliszewski (2018) a partir dos seguintes parâmetros:

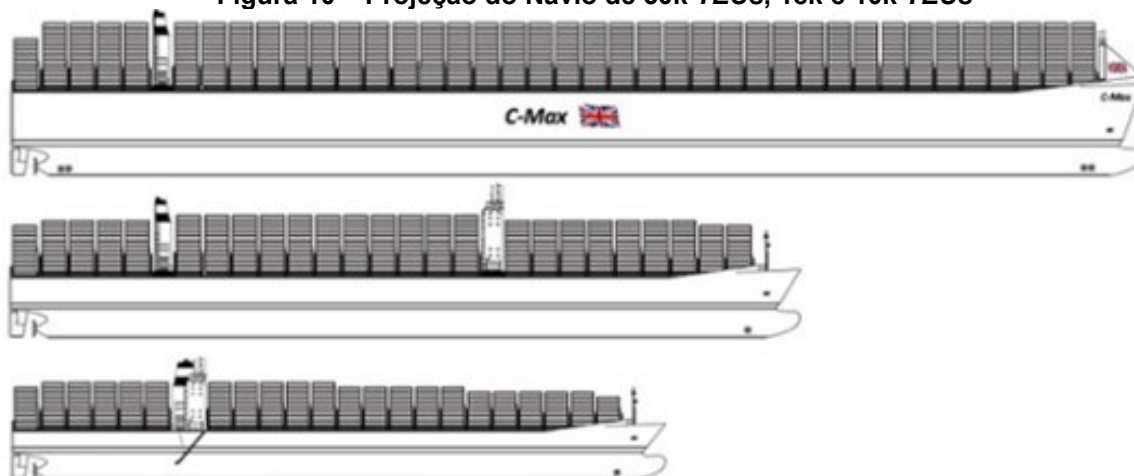
- Capacidade para operar navios de 50.000 *TEUS* com calado máximo operacional¹⁰ de 20m;
- Automação total das operações de carga e descarga dos terminais;
- Capacidade de operações multimodais com a hinterlândia a baixos custos e sem saturamento de vias.

Na Figura 10 pode-se comparar o aumento linear dos navios frente ao respectivo aumento de sua capacidade de carregamento, iniciando com a projeção

¹⁰ Calado Máximo Operacional (CMO): é o calado máximo para o qual uma embarcação pode ser carregada em um dado conjunto de condições, mantendo a suficiente folga abaixo da quilha, para garantir a passagem segura através de um canal de acesso, canais internos ou de aproximação, bacias de evolução e dos berços, e cujo valor é determinado pela Autoridade Portuária (AP) sob coordenação da Autoridade Marítima (AM), consoante a Lei dos Portos (Marinha do Brasil, 2021).

dos navios que alcançariam 50.000 *TEUs*¹¹ de capacidade, seguido pelos atuais navios de 18.000 *TEUs* e por último as embarcações de 10.000 *TEUs*.

Figura 10 – Projeção do Navio de 50k *TEUs*, 18k e 10k *TEUs*



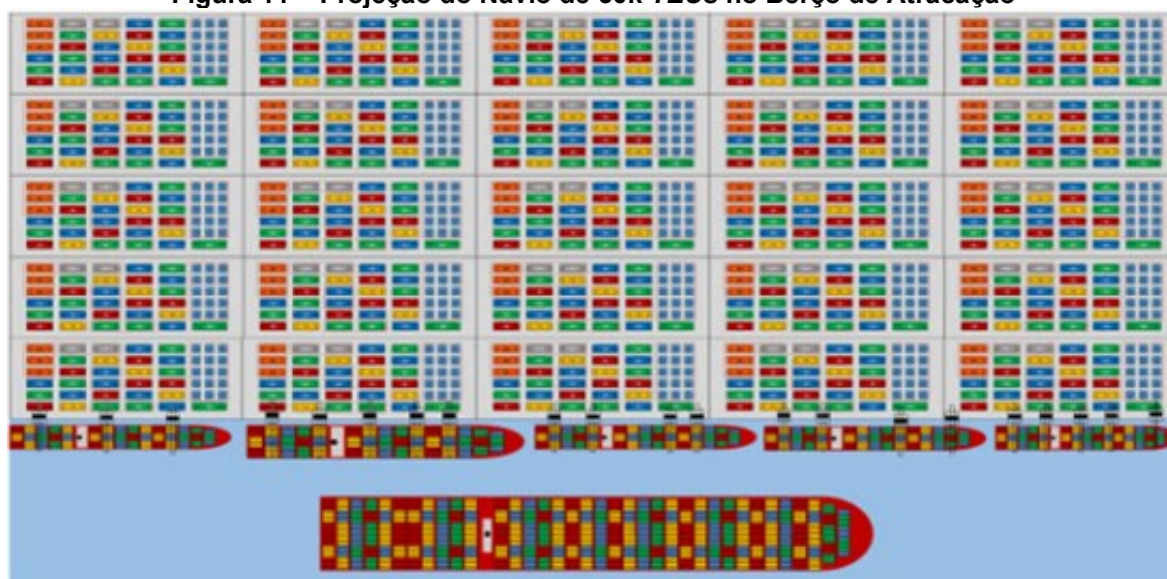
Fonte: Bebbington, 2017.

O propósito desta comparação é verificar que os navios presentes já dobraram a capacidade sem dobrar seu tamanho linear, e que a projeção dos futuros navios de 50.000 *TEUs* acompanharam essa singularidade, muito em função do desenvolvimento das técnicas construtivas e de materiais.

Além dos problemas relacionados aos esforços de flexo-torção e estabilidade, os navios deste porte demandarão novos layouts dos terminais de atracação, como pode ser visualizado na Figura 11.

¹¹ TEU: *Twenty foot equivalent unit*, unidade equivalente a 20 pés, é uma medida-padrão utilizada para calcular o volume de um container. Um TEU representa a capacidade de carga de um contêiner marítimo normal, de 20 pés de comprimento, por 8 de largura e 8 de altura.

Figura 11 – Projeção do Navio de 50k TEUs no Berço de Atracação

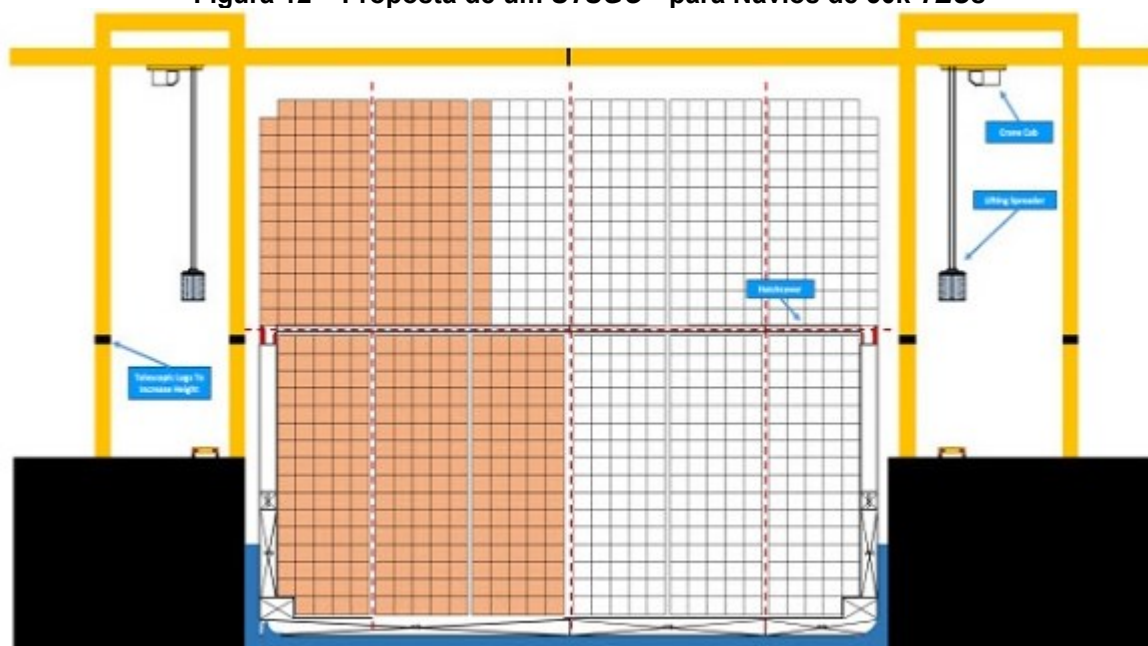


Fonte: Bebbington, 2017.

Conclui-se que a tendência de aumento para grandes embarcações em função do ganho de escala trará um desafio de engenharia tanto nas estruturas quanto na forma de operação, abrindo-se oportunidades disruptivas para que modelos inovadores sejam implantados tanto em infraestrutura quanto nas superestruturas, assim como no *layout* e processos de movimentação de carga envolvidos.

Outro desafio a ser solucionado encontra-se em novos equipamentos com capacidade para operar embarcações de grande porte das projeções ilustradas na Figura 12, além dos desafios estruturais e construtivos a velocidade e eficiência destes futuros equipamentos demandarão muita Pesquisa e Desenvolvimento – P&D para equilibrar a produtividade, eficiência, segurança, ainda considerar a demanda por treinamento e capacitação no uso destes equipamentos que possivelmente terão um nível de assistência computacional embarcada altíssimo e cuja tendência é que se migre para uma operação totalmente autônoma e totalmente automatizada com mínima ou nenhuma intervenção humana.

Figura 12 – Proposta de um STSGC¹² para Navios de 50k TEUs



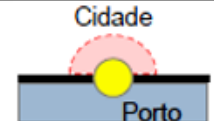
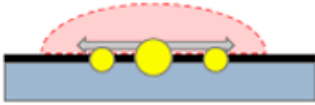
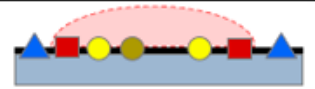
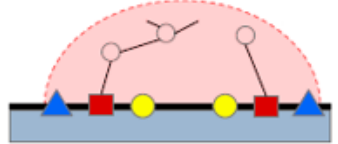
Fonte: Bebbington, 2017.

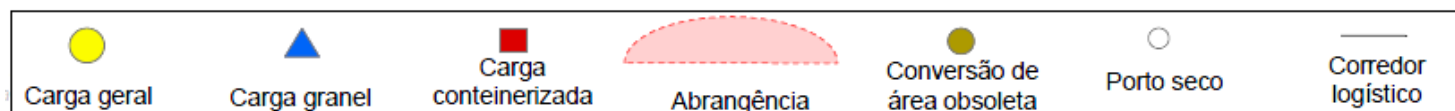
Bebbington (2017) ao apontar as tendências dos equipamentos marítimos-portuários amplifica a demanda por soluções tecnológicas disruptivas e conseqüentemente muito trabalho de PD&I a ser realizado. Nota-se que os equipamentos da 6ª geração de portos trarão consigo um salto na evolução tão significativos quanto as inovações de força motriz que inauguraram novas eras industriais.

O **Quadro 1** traz a evolução do arranjo do sistema portuário, seu objetivo funcional e sua abrangência territorial, indicando o valor agregado ao usuário do sistema em cada época e a expansão da sua área de influência, processo induzido, objetivo funcional, tipo e volume de carga operada (Notteboom; Rodrigue, 2005).

¹² STSGC: *Ship to Shore Gantry Crane*, guindaste de navio-costado.

Quadro 1 – Evolução do Objetivo Funcional do Sistema Portuário

PERÍODO	PROCESSO INDUZIDO	OBJETIVO FUNCIONAL	ALCANCE	VOLUME [kt/dia]	ARRANJO DO SISTEMA PORTUÁRIO
1850	Comércio	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação; • Armazenagem. 	Cidades	10	 <p>Cidade</p> <p>Porto</p> <p>soluções: locais e generalizada</p>
1950	Industrialização	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação; • Armazenagem; • Manufatura Industrial. 	Estados	100	 <p>soluções regionais e generalizadas</p>
2000	Globalização	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação; • Armazenagem; • Manufatura Industrial; • Distribuição de containers; 	Países	600	 <p>Soluções globais e especializadas</p>
Presente	Logística	<ul style="list-style-type: none"> • Movimentação; • Armazenagem; • Manufatura Industrial; • Distribuição de containers; • Controle logístico. 	Continental	2000	 <p>Soluções globais, integradas e especializadas</p>



Fonte: Adaptado pelo Autor de Notteboom; Rodrigue (2005).

Conclui-se que o processo induzido tem relação direta com o objetivo funcional do porto e o atendimento das novas demandas de mercado foi o motor da evolução e desenvolvimento de novas competências, contribuindo para entregar mais valor ao usuário do sistema que a partir do aumento da capacidade operacional do porto e abrangência da operação teve sua área de influência aumentada de soluções locais para globais (Notteboom; Rodrigue, 2005).

Além dos aspectos físicos dos impactos causados pela evolução marítima-portuária e do volume operacional, a análise dos recursos humanos envolvidos é de grande importância; nesse sentido, estudos como o Workport (Naniopoulos et al., 2000) teve como objetivo avaliar os impactos das novas tecnologias no ambiente de trabalho portuário e considerar a aplicação de novos conceitos organizacionais e de gestão para atender as novas demandas portuárias.

De acordo com o relatório final produzido, o estudo desenvolveu e aplicou uma metodologia de pesquisa estruturada sobre o impacto socioeconômico dos conceitos e tecnologias organizacionais aplicadas nos portos.

A metodologia de avaliação consistiu em diferentes elementos para descobrir e integrar a opinião dos trabalhadores portuários a respeito do impacto das novas tecnologias e modelos organizacionais. Esses elementos foram:

- Análise de Preferências Declaradas;
- Análise Multicritérios;
- Questionário de Impacto Social.

Os estudos de caso foram conduzidos nos portos de Rotterdam (Holanda), Immingham (Reino Unido), Gotemburgo (Suécia), Kotka (Finlândia), Thessaloniki (Grécia) e Duisburg (Alemanha).

O estudo de caso foi instrumentalizado pelo método *Delphi* de entrevistas com especialistas portuários, gestores e trabalhadores dos vários departamentos da autarquia e das empresas portuárias, utilizando um questionário desenvolvido no âmbito do projeto Workport (2000).

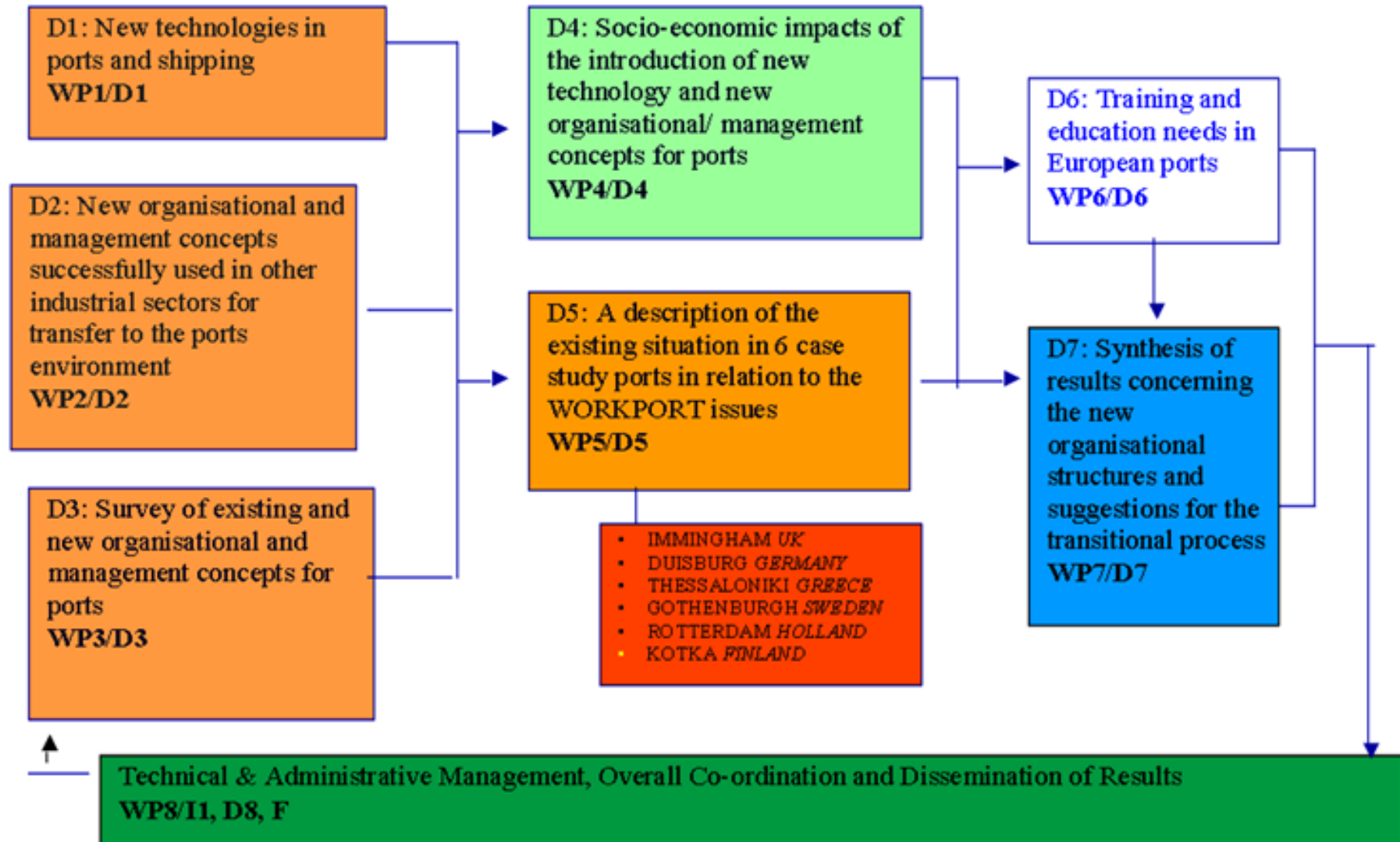
O Consórcio derivou um modelo esquemático, que descreve como a indústria portuária europeia evoluiu desde a década de 1960 e identifica os principais fatores e marcos neste processo de transição, o modelo descreveu em detalhes o processo de transição e suas principais fases para os portos europeus. No entanto, deve-se notar que nem todos os portos europeus seguiram essas fases porque são afetados por

diferentes fatores externos. Uma estratégia adequada para implementar e gerenciar a mudança organizacional é descrita na literatura. A sua aplicação aos portos foi considerada em exemplos derivados dos estudos de caso portuários (Naniopoulos et al., 2000).

Embora os exemplos sejam diferentes entre si, eles ilustram tanto os problemas decorrentes da mudança organizacional quanto como esses problemas podem ser resolvidos, identificando, assim, os fatores que provavelmente levarão à sua realização bem-sucedida. Existe a necessidade de uma adequada atualização da formação e qualificação dos trabalhadores portuários, que tem sido cada vez mais reconhecida na maioria dos países europeus. Como testemunham várias entrevistas de inquiridos portuários e experiências pessoais, a integração e coordenação de iniciativas de formação são de fundamental importância.

A metodologia utilizada no projeto, ilustrada na Figura 13, incluía as etapas iniciais “D1”, “D2” e “D3” de pesquisa e levantamento de tecnologias no setor portuário e do setor industrial que podem ser transferidas ao ambiente portuário, assim como modelos organizacionais. Nos processos “D4”, “D5” foram analisados os impactos socioeconômicos da implantação destas tecnologias agregando os resultados obtidos nos estudos de caso dos portos elencados. No processo “D6” foram definidos os requisitos em treinamento e a capacitação dos trabalhadores portuários.

Figura 13 – Metodologia e Etapas – Workport



Fonte: Naniopoulos et al. (2000, p. 19).

Nota-se que a última fase do modelo é o processo “D7”, em que os resultados obtidos foram sintetizados em propostas de processos de transição das novas tecnologias e estruturas organizacionais. O relatório final das etapas foi então difundido nas gerências técnicas e administrativas (Naniopoulos et al., 2000).

2.2 INOVAÇÃO COMO FATOR DE COMPETITIVIDADE NO SISTEMA PORTUÁRIO

De acordo com o Manual de Oslo 4ª Ed. (2018), que propõe diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica, considera-se inovação:

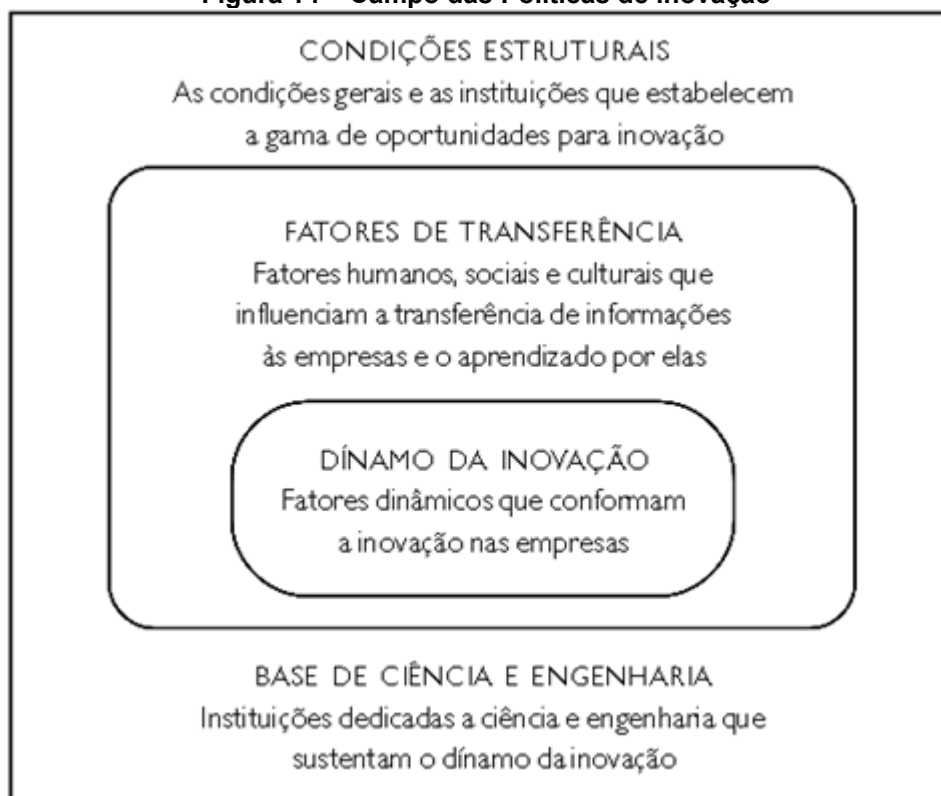
[...] um produto ou processo novo ou aprimorado (ou combinação deles) que difere significativamente dos produtos ou processos anteriores da unidade e que foi disponibilizado a usuários em potencial (produto) ou colocado em uso pela unidade (processo).

Para Drucker (1989) inovação pode ser vista como uma ferramenta do empresário para desbravar oportunidades e implementar diferenciações.

A OCDE (2005) ilustra na Figura 14 o campo de interações da inovação em quatro categorias abrangentes, ou domínios de fatores relacionados com a inovação, estes podem ser apresentados como um mapa, em que se indicam áreas em que a alavanca das políticas pode ser aplicada à inovação comercial ou áreas que precisam ser levadas em consideração quando forem definidas iniciativas políticas.

Esta é uma forma de apresentação estruturada do campo das políticas de promoção de um sistema nacional de inovação genérico, ainda que a abordagem considere os sistemas nacionais, em um cenário de crescente intercâmbio tecnológico as mesmas considerações podem ser aplicadas em nível transnacional.

Figura 14 – Campo das Políticas de inovação



Fonte: OCDE (2005, p. 37).

Verifica-se que no plano de fundo como base estrutural da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) estão as Instituições de Ciência e Tecnologia – ICTs, citadas como “Base de Ciência e Engenharia” e as “Condições Estruturais” compreendidas como políticas públicas e fatores de mercado. No núcleo deste campo encontra-se o “Dinamo da Inovação” cujos fatores podem agir como o propulsor da inovação, e o elo entre este dinamismo e as bases estruturais são os “Fatores de Transferência” do conhecimento.

Schumpeter (1934) propôs uma abordagem atribuindo a importância dos avanços tecnológicos, tendo por base as inovações, para explicar o desenvolvimento das empresas e da economia, principalmente as profundas mudanças econômicas e sociais do capitalismo ao longo de sua história. A seguir os autores neoschumpeterianos enfatizaram que o desenvolvimento tecnológico não apenas tem papel primordial no processo da inovação, mas também promove o mais importante diferencial competitivo e possibilita a manutenção da posição de mercado ou a conquista de outros mercados no setor de atuação de uma determinada indústria (Silva; Junqueira; Cardoso, 2016).

As perspectivas dos principais autores neo-schumpeterianos estão sintetizadas no Quadro 2, Silva, Junqueira e Cardoso (2016) trouxeram uma diversidade de interpretações do pensamento original de Schumpeter adaptados a diversos contextos setoriais e temporais:

Quadro 2 – Síntese das Perspectivas de Autores Neo-Schumpeterianos

Autores	Inovação
Freeman (1987)	Inovar é o processo que inclui as atividades técnicas, concepção, desenvolvimento, gestão e que resulta na comercialização de novos (ou melhorados) produtos, ou na primeira utilização de novos (ou melhorados) processos.
Dosi, Pavitt, e Soete, (1990)	Inovar é uma atividade complexa inserida em um processo ou relacionada com a descoberta, desenvolvimento, experimentação e adoção de novos produtos e/ou processos produtivos.
Higgins (1995)	Inovar é criar novos produtos ou processar melhorias em produtos existentes e o mesmo ocorre para os serviços. Os processos podem ser novos ou serem realizadas melhorias.
Rieg e Alves Filho (2003)	Inovar significa desenvolver tecnologias de processos e produtos viáveis comercialmente. Inovar tecnologicamente é aperfeiçoar o desempenho do produto.
Prahalad e Ramaswamy (2004)	Inovar é adotar novas tecnologias que permitem aumentar a competitividade da empresa no mercado.
Manual de Oslo 2005	Inovar é um processo contínuo e é adotado na melhoria de produtos e processo organizacional e de marketing.
Kelley (2005)	Inovar é o resultado de um trabalho em equipe, isto é, ser receptivo à cultura e tendências de mercado, aplicando conhecimento de maneira a visualizar o futuro e gerar produtos e serviços diferenciados.

Fonte: Silva; Junqueira; Cardoso (2016, p. 3).

Observa-se a amplitude de abordagem dos conceitos relativos ao tema da inovação, porém a convergência dos autores ao foco da melhoria do processo, produto e ou serviço prévio.

Porter (1989) define que a vantagem competitiva é alcançada quando uma empresa consegue criar valor em um produto ou processo que vai além do custo de produção e a alteração não é implementada ao mesmo tempo por concorrentes atuais ou potenciais.

Portanto, a maneira como uma empresa implementa as suas estratégias para enfrentar a concorrência e aproveitar as oportunidades do mercado resultará ou não na conquista de vantagens competitivas (Porter, 1989).

Bharadwaj et al. (1993) acrescenta que a vantagem competitiva é conquistada quando uma empresa definitivamente procura implementar estratégia inovadora capaz de criar valor para o mercado.

Barney (2001) ressalta que quando mais nenhuma das demais empresas

consegue imitar os benefícios da estratégia adotada, considera-se que a vantagem competitiva é bastante sustentável.

A vantagem poderá ainda ser caracterizada pela percepção do mercado na diferenciação e na criação de valor em produtos e serviços que até então não se encontravam disponíveis para os consumidores (Conto; Antunes Júnior; Vaccaro, 2016).

O setor portuário é integrador de um alto número de empresas, o que demanda uma cooperação intensa para a efetiva implementação de tecnologias inovadoras, melhoria dos processos e aumento da competitividade do porto, sua comunidade e seus usuários. A inovação não ocorre de forma isolada por parte das empresas individuais, mas sim depende de uma ampla gama de atores interconectados, como empresas, institutos de pesquisa, incubadoras, governos e associações industriais, bem como da cultura em assumir riscos, regulação e cooperação (BID, 2023; Cohen; Levinthal, 1990).

Uma característica distintiva entre um ecossistema de inovação portuária e um ecossistema de inovação tecnológica é o foco na capacidade de absorção, dado o mercado restrito e específico. Essa capacidade representa o principal desafio e motivação para os portos, pois envolve a aplicação precoce de novos conhecimentos e tecnologias, frequentemente desenvolvidos fora do cluster portuário e em outros setores (BID, 2023). Essa premissa de aplicação de tecnologias migrantes da indústria 4.0 foi aplicada ao presente trabalho e pressupõe que setores mais maduros tecnologicamente e com volume de demanda tecnológica podem ser os fornecedores e desenvolvedores dessas tecnologias para o ecossistema portuário, principalmente quando se utiliza um modelo de inovação aberta, em que o compartilhamento de conhecimento transborda a fronteira dos setores e sistemas empresariais (De Langen et al., 2019; Nicotra; Romano; Del Giudice, 2014; Souza et al., 2022).

A capacidade de absorção pode ser definida como a habilidade de assimilar, ampliar, difundir e explorar conhecimentos provenientes de fontes externas ao cluster portuário (Cohen; Levinthal, 1990). A capacidade de absorção é determinada tanto pela formação de *links* com fontes de conhecimento externas à comunidade portuária quanto pelo sistema de conhecimento presente na própria comunidade.

O nível de capacidade de absorção de uma empresa é o fator determinante

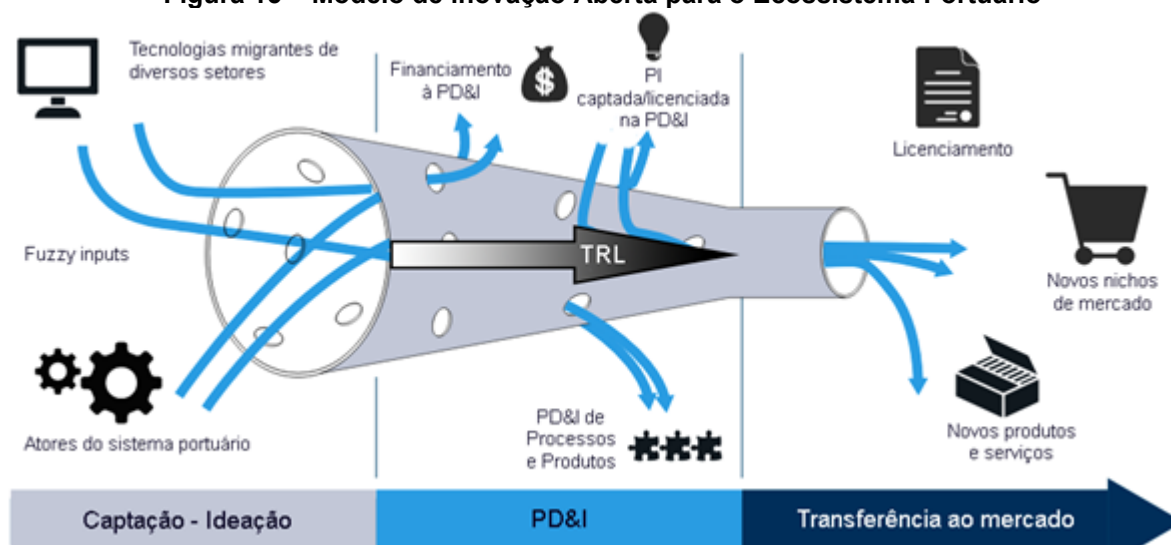
para sua habilidade em reconhecer e avaliar o valor potencial do conhecimento externo em seguida assimilá-lo e integrá-lo às atividades de PD&I (Nicoira; Romano; Del Giudice, 2014).

O sistema portuário caracteriza-se pelo elevado número de atores e diversificação das atribuições destes nos processos (BNDES, 2019), observa-se que distintamente de outros setores em que as organizações desenvolvem e utilizam soluções tecnológicas como parte integrante do seu diferencial competitivo, no setor portuário operadores, transportadores e outros atores do sistema utilizam-se de soluções tecnológicas desenvolvidas em outros setores industriais e adaptadas às aplicações portuárias, ainda que este cenário esteja evoluindo para desenvolvimento próprio do setor.

Diversas APs referências em inovação tecnológica portuária como Roterdã, Valência, Hamburgo, Antuérpia e Cingapura, reconhecem a importância da inovação em seus planos estratégicos para potencializar a inovação em seus portos e passaram a considerar o ecossistema de inovação portuária como parte integrante da sua plataforma de negócios, atuando como facilitadoras e incentivadoras da inovação e agregando valor ao usuário do sistema (BID, 2023).

A nota técnica do BID: Ecossistema para inovação em Portos (2023) propõe um modelo de inovação aberta para o ecossistema de inovação portuário que foi incrementado pelo presente trabalho com o modelo de Docherty (2006) e os modelos trazidos pela revisão e análise da literatura de Silva, Bagno e Salerno (2013), na Figura 15 ilustra-se o modelo consolidado, que sugere a captação do conhecimento e demandas dos atores na entrada do funil e que o processo de PD&I seja realizado com as fronteiras permeáveis, em que as tecnologias possam fluir em via dupla para o desenvolvimento de inovações e que na saída do funil serão captadas pelo mercado.

Figura 15 – Modelo de inovação Aberta para o Ecossistema Portuário

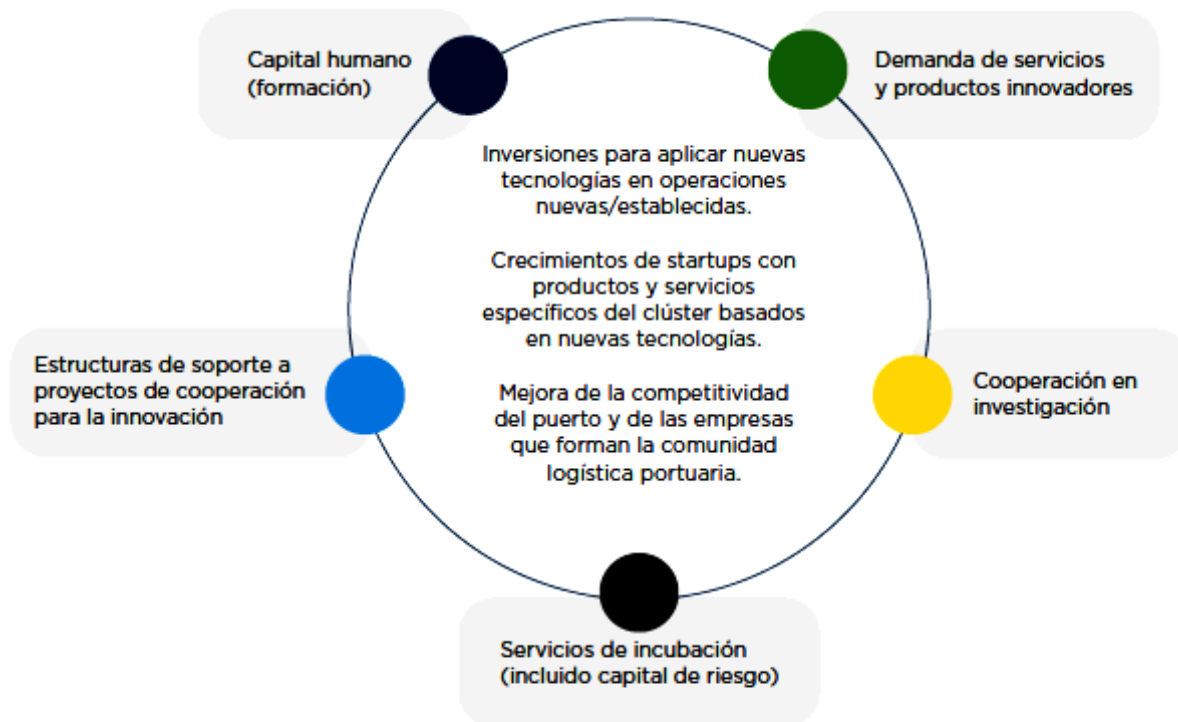


Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de BID, 2023; Docherty, 2006; Silva; Bagnó; Salerno, 2013.

O modelo relaciona três fases do funil da inovação aberta (captação, PD&I, transferência ao mercado) indicando que o ecossistema de inovação portuário se alimenta das tecnologias migrantes de outros setores e que o processo de PD&I resulte na transferência dessas inovações ao mercado podendo gerar novos produtos, serviços, novos nichos de mercado e ativos pelo licenciamento das tecnologias resultantes.

O modelo ilustrado na Figura 16 foi proposto por (De Langen et al., 2019) para identificar os componentes de um ecossistema de inovação portuária tendo como base estruturante a cultura e as políticas públicas orientadas à inovação e os componentes: (i) capital humano e formação; (ii) demanda de serviços e produtos inovadores; (iii) cooperação em investigação; (iv) incubação e capital de risco; (v) estruturas de suporte e cooperação para projetos de inovação.

Figura 16 – Componentes do Eossistema de Inovação Portuária



Cultura orientada a la innovación

Políticas públicas en favor de la innovación

Fonte: Adaptado por BID (2023) de De Langen et al. (2019).

A partir das considerações dos autores pode-se dizer que as referidas bases estruturantes e os componentes do modelo trazem aos ecossistemas as seguintes contribuições e impactos:

- **Cultura orientada à Inovação:** uma cultura orientada à inovação tem sido amplamente descrita na literatura como uma parte relevante de um ecossistema de inovação. É importante promover a cultura empreendedora para transformar ambientes e capacitar, principalmente os mais jovens, dentro de uma comunidade onde a tomada de riscos e o lançamento de startups sejam valorizados e reconhecidos pela sociedade.
- **Políticas públicas em favor da inovação:** abrangem o papel que os governos devem desempenhar na eliminação de obstáculos regulatórios à inovação, bem como no desenvolvimento de estratégias, incentivos e ações que facilitem e impulsionem a busca por novos conhecimentos e tecnologias pelas empresas estabelecidas (portos, terminais, organismos públicos,

grandes empresas do setor logístico). Ao mesmo tempo, são estabelecidas iniciativas para apoiar startups e empreendedores com soluções voltadas para os desafios do cluster logístico portuário.

- **Capital Humano e Formação:** o capital humano e sua formação desempenham um papel importante no sucesso de um ecossistema de inovação no setor logístico portuário, considerando todas as transformações em andamento atualmente. O setor está passando por uma transformação na qual as habilidades e conhecimentos em tecnologias emergentes (*big data*, *blockchain*, automação, internet das coisas) são cada vez mais demandados nas novas atividades que um profissional do setor precisa dominar. A qualidade da mão de obra local para todos os perfis exigidos nesse setor é diretamente impactada pela oferta especializada fornecida por universidades e outras instituições educacionais localizadas nas proximidades do porto. A existência de uma oferta especializada em formação e educação de qualidade também afeta a capacidade da comunidade portuária de atrair e reter talento externo.
- **Demanda de Serviços e Produtos Inovadores:** importante alavanca que uma comunidade portuária pode ter para o desenvolvimento de seu ecossistema de inovação. Essa demanda por produtos e serviços inovadores em geral provém de um grupo específico de empresas, chamadas de usuários líderes. Esses usuários são aqueles que identificam necessidades que se tornarão unânimes no mercado, porém com antecedência de meses ou anos em relação ao setor como um todo. No contexto portuário, o desafio dos gestores ou desenvolvedores do ecossistema é identificar esses líderes e atender à sua demanda por inovação, seja por meio de empresas locais ou multinacionais ativas no porto e dispostas a inovar.
- **Cooperação em PD&I:** tem um impacto comprovado no desempenho inovador das regiões (Woodward; Figueiredo; Guimaraes, 2006), e as conexões entre as pequenas e médias empresas (PMEs) e os institutos de pesquisa melhoram o desempenho inovador das empresas (Zeng; Xie; Tam, 2010). Muitas empresas em comunidades portuárias e órgãos governamentais enfrentam problemas complexos sem solução clara ou

disponível no mercado. Isso é agravado em um contexto em que as tecnologias emergentes podem oferecer possibilidades de mudanças radicais na operação e gestão das atividades logísticas, exigindo investigação aprofundada dentro das características de cada operação. As universidades e centros de pesquisa podem contribuir com metodologia científica e ferramentas que gerem conhecimento fundamental para o desenvolvimento de futuros produtos e serviços inovadores. Este componente aborda a importância do estabelecimento de laços de cooperação entre institutos de pesquisa, universidades e empresas do ecossistema, a fim de contribuir para a geração de conhecimento local e solução de problemas reais, bem como para capacitar e qualificar jovens que, em muitos casos, serão empregados como mão de obra especializada pelo mercado.

- **Incubação e Capital de Risco:** os serviços de incubação e capital de risco são de extrema importância para as startups que surgem no ecossistema portuário. Eles melhoram a taxa de sobrevivência e o crescimento das novas empresas. Um aspecto-chave é o apoio à internacionalização, uma vez que a maioria das oportunidades de comercialização surgirá em uma segunda fase fora do ecossistema. Para que as empresas incubadas evoluam a ponto de validar seu modelo de negócio ou alcançar uma fase de sustentabilidade econômica, os serviços de incubação e aceleração não devem apenas fornecer capital, mas também uma rede de acesso às empresas portuárias e conhecimentos especializados por meio de uma rede de mentores.
- **Estruturas de Suporte e Cooperação para Projetos de Inovação:** neste componente, há instalações de teste para novos produtos, serviços e tecnologias, chamadas em alguns casos de “laboratórios operacionais” ou “*living labs*” (Teixeira et al., 2018). Neles, várias partes envolvidas em projetos de inovação colaboram para criar protótipos, validar e testar novas tecnologias, serviços e produtos em contextos o mais próximo possíveis da realidade em níveis mais altos de *Technology Readiness Level* – TRL. Em muitos casos, as universidades podem contribuir com seus laboratórios para o ecossistema por meio de acordos de cooperação. Em outros casos, o porto precisará cooperar com outras instituições para oferecer ao ecossistema

simuladores, áreas de teste ou piloto para grandes máquinas. Além disso, o porto deve estabelecer uma política clara sobre como seu ambiente e infraestrutura podem ser utilizados por empresas emergentes para testar a aplicação de novas tecnologias, a gestão dos ativos e dos projetos de PD&I deverá ser feita por meio de Núcleos de Inovação Tecnológica – NITs¹³, cujo papel central é ser um agente de proteção dos ativos gerados no processo de PD&I, coordenar a transferência de conhecimento e tecnologia, podendo ter ou não personalidade jurídica (obrigatório para NITs de ICTs públicas), ou mesmo que compartilhados entre instituições de mesmo propósito ou grupos econômicos, os NITs são as estruturas mais adequadas para a coordenação e gestão dos projetos e ativos decorrentes destes (Russo et al., 2017; Teixeira et al., 2018).

Segundo BID (2023) os três principais resultados de um ecossistema de inovação em portos são ilustrados no centro do modelo consistem em:

- Investimentos direcionados à implementação de novas tecnologias em operações já existentes ou em novas operações.
- Crescimento de startups dentro do ambiente portuário, que oferecem produtos e serviços específicos para o cluster portuário e que se baseiam em tecnologias emergentes.
- Aumento da competitividade do porto e das empresas que fazem parte da comunidade logística-portuária, resultando em melhorias significativas em sua posição no mercado.

Destaca-se a importância dada pelos autores às políticas públicas e à cultura da inovação como alicerces do modelo dos componentes do ecossistema portuário proposto.

2.2.1 Competitividade Portuária

O conceito de competitividade é abrangente e está ligado à alta produtividade, custos reduzidos e serviços diferenciados, (Shaheen; Hahmoud; Ei-All, 2014) indicam

¹³ NIT: Núcleo de inovação tecnológica, organismo de gestão, coordenação e controle dos projetos e ativos de PD&I.

que o conceito de competitividade portuária tem estado envolvido nas mudanças da economia global de maneira direta, como resultado da reorganização e distribuição da força de trabalho, capital e, por meio da globalização dos mercados, esse elo convergiu com a crescente tendência à dinâmica e mobilidade. Isso mudou o cenário dos portos marítimos, sua estrutura organizacional, estratégias e processos operacionais.

Portanto, considerando que a competitividade de um porto está ligada à existência de concorrência, Notteboom & Yap (2012) defendem que a concorrência portuária não é um conceito claramente delimitado em parte em função da sua natureza complexa deste sistema. E fundamentam que a natureza e as características da concorrência dependem, entre outras coisas, do tipo de porto envolvido e mercadoria operada.

A prospecção de mercado no setor portuário mudou radicalmente nos últimos dois séculos. Durante o século XIX e primeira metade do século XX, os portos tendiam a ser instrumentos do estado ou dos poderes coloniais e o acesso e saída portuários eram vistos como meios de controle dos mercados. A concorrência entre portos era mínima e os custos portuários eram relativamente insignificantes em comparação com o alto custo do transporte marítimo e terrestre. Como resultado, houve pouco incentivo para melhorar a eficiência portuária (World Bank, 2007).

O Banco Mundial enumera cinco forças impulsionadoras de competição global dos portos, ilustradas na Figura 17 (World Bank, 2007):

Figura 17 – Forças Impulsionadoras da Competição Portuária no século XXI



Fonte: Adaptado pelo Autor de World Bank (2007, p. 4).

Nota-se que as forças podem ser agrupadas em três grupos, sendo:

- **Barganha dos prestadores e usuários:** neste grupo, o poder de negociação será a chave para manter a competitividade, a adoção de diferenciais tecnológicos pode ser usada como trunfo.
- **Novos players e portos regionais:** neste grupo, a posição geográfica, o potencial de acesso e a matriz de transporte são componentes chave para consolidação frente à concorrência.
- **Novos mercados e rotas:** fatores externos como crescimento demográfico, substituição de tecnologias e novos produtos fazem com que surjam novas rotas e centros de distribuição. Desenvolver clusters locais de tecnologia pode contribuir para mitigar este risco.

2.2.2 Fatores de Vantagem Competitiva em Portos

Atualmente, a maioria dos portos tem competido entre si em escala global e, com ganhos de produtividade obtidos no desenvolvimento do transporte marítimo, os portos são vistos como componentes críticos na melhoria de eficiência da logística e do transporte marítimo. Gerou-se, então, um esforço para melhorar a eficiência portuária, reduzir os custos de movimentação de carga e integrar os serviços portuários com outros componentes da rede de distribuição global (World Bank, 2007).

Considera-se que os portos tradicionalmente contam com posições geográficas e gestão operacional para obter vantagens competitivas. No entanto, a intensificação da concorrência entre os portos forçou a atribuir maior importância à diferenciação, incorporar indústrias de manufatura integrada à indústria de logística e formar cluster industriais (Accenture, 2016).

A competitividade portuária é determinada por sua oferta para os clientes e linhas de expedição para rotas comerciais específicas, regiões geográficas e outros portos aos quais está ligado, delineando, assim, fatores que podem determinar a competitividade de um terminal portuário:

- gozar de proximidade com os principais centros de produção e consumo com as principais vias comerciais;

- possuir excelente acesso marítimo e interior e oferecer conexão superior aos mercados;
- ser capaz de reduzir os custos portuários para os usuários por meio de maior produtividade;
- ser capaz de expandir a capacidade a tempo de atender à demanda e ter espaço suficiente para atender a futuras extensões de desenvolvimento e capacidade;
- ser capaz de lidar com os desafios colocados pelo novo ambiente de negócios de logística;
- ter maior envolvimento do setor privado no nível das operações dos terminais (Notteboom; Yap, 2012).

Deste modo, a competitividade do porto é determinada por diversos fatores, incluindo disponibilidade, tamanho, eficiência, produtividade, fatores de custos totais de transporte por *TEU*, custos de logística (interna e administrativa), confiabilidade, diferenciação de serviço, desenvolvimento profissional, força de trabalho, fatores de suporte e capacidade de constante inovação suportada por aplicativos de tecnologia de informação (Kim; Kang; Dinwoodie, 2016).

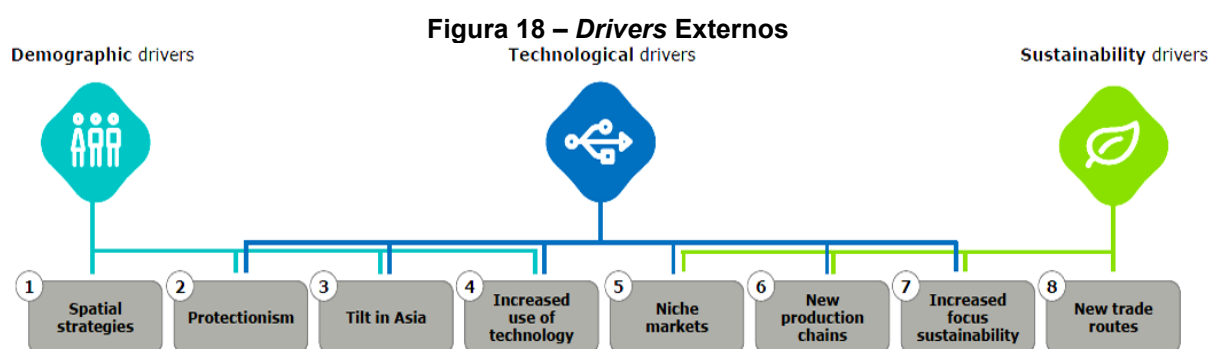
2.2.3 Tendências Tecnológicas Portuárias

Este tópico buscou levantar as principais tendências tecnológicas do setor portuário, partiu-se da premissa de que as inovações que geram soluções tecnológicas podem resultar de forças de impulsão ou atração denominadas como “*technology-push, market-pull*”, a primeira impulsiona inovações a partir de tecnologias emergentes que antes não eram disponíveis, também conhecida como *technology seed*, semeia setores diversos proporcionando novos produtos, processos e serviços. A segunda força gera demanda de soluções até então não atendidas parcial ou completamente, criando oportunidade para que a força da inovação traga novas concepções disruptivas ou incrementais que atendam a essa demanda, tracionando, assim, o desenvolvimento tecnológico nessa direção (Brem; Voigt, 2009).

A partir dessa premissa levantou-se os principais *drivers* externos que estão

direcionando soluções tecnológicas do setor portuário, ressalta-se que em função da diversidade geográfica, política ou econômica de cada um dos estudos pesquisados encontraram-se diversos *drivers* e tendências, porém a indicação de soluções que gerem um uso otimizado de recursos, sejam humanos ou materiais são convergentes em todos os estudos, em especial no que se refere às tecnologias que otimizem os recursos energéticos e ambientais gerando menos impacto nessas áreas (Amsterdam, 2017; Chu et al., 2020; El Sakty, 2016; Executive, 2015; Fundación Valenciaport, 2019; Heikkilä; Saarni; Saurama, 2022; HPA, 2016; Lloyd; Lloydsregister, 2014; Magellan, 2020; Sadiq et al., 2021a; Singapore, 2018; Tan et al., 2018).

Na Figura 18 demonstram-se os *drivers* externos e os respectivos *drivers* secundários ou *micro drivers* derivados destes, verifica-se que diferentes *drivers* primários podem impactar mais de um *driver* secundário.



O estudo considerou o recente cenário pandêmico e listou os *drivers* primários como: (i) Demográficos; (ii) Tecnológicos; (iii) Sustentabilidade e os *drivers* secundários ou *micro drivers* como sendo:

(1) **Estratégias Espaciais:** este *micro driver* aponta para a pressão do uso racional do solo em função do crescimento demográfico levantado e a urbanização, fazendo com que os espaços sejam concorridos entre as cidades e o porto, acarretando um uso estratégico dos espaços.

(2) **Protecionismo:** sinais de antiglobalização dos mercados levam à necessidade de desenvolvimento local de tecnologia.

(3) **Caos Asiático:** o isolamento de fornecedores asiáticos causado pela pandemia fez surgir a necessidade de estratégias locais de suprimento e centros de

distribuição avançados que causem menor dependência de rotas intercontinentais.

(4) **Incremento do Uso de Tecnologia:** a tecnologia como fator de competitividade na entrega de valor ao usuário do sistema portuário será chave na competição entre os portos que antes era focada na produtividade.

(5) **Nichos de Mercado:** *clusters* locais mais próximos ao local de consumo e explorando o potencial de especialização portuário local.

(6) **Novas Cadeias de Produção:** surgirão em substituição e/ou aprimoramento das atuais; tecnologias como a impressão 3D têm potencial de substituir localmente uma infinidade de produtos sem a necessidade de transportá-los por longas distâncias.

(7) **Aumento do Foco em Sustentabilidade:** assim como adesão global às pautas de *ESG*, potencial de crescimento da economia azul e o atingimento das metas do ODS 14 (proteger a vida marinha) (Brasil, 2017).

(8) **Novas Rotas Comerciais:** decorrentes da consolidação da rota do ártico e a descoberta de novas fontes de recursos naturais a serem explorados, mudarão o cenário geopolítico e o mapa global de poder econômico e consumo.

Van Dorsser e Taneja (2020) classificaram os *drivers* em áreas temáticas do acrônimo *STEEP* (*Societal, Technological, Economical, Environmental and (Geo)Policy*) proposto por (Habegger, 2010) complementado por temas adicionais em *Energy, Employment, Population e Identity* por (Watson, 2013). Ressalta-se que a utilização dos temas deve ser adequada ao contexto dos cenários analisados.

No Quadro 3 apresenta-se a análise dos *drivers* externos para o porto de Roterdã, a partir das tendências apontadas nas *K-Waves*¹⁴, subsidiando o levantamento das tendências adotadas como *drivers* secundários ou micro *drivers* (Garcia; Bray, 1997; Groenveld, 1997; Van Dorsser; Taneja, 2020).

¹⁴ *K waves*: Super ondas ou ondas K (ondas Kondratieff) são conceituadas de muitas formas na literatura, porém no contexto desta abordagem as *k waves* são flutuações senoidais cíclicas e de longo prazo geradas por uma clusterização de inovações tecnológicas e ou organizacionais que trazem produtividade e benefícios socioeconômicos significativos no decorrer do seu ciclo (Miller; Vandome; Mcbrewster, 2009; Thompson, 2014).

Quadro 3 – Drivers Apontados Pela 6th K Wave

ÁREA	TENDÊNCIA E IMPACTO TECNOLÓGICO
Social	<ul style="list-style-type: none"> • A estagnação do crescimento populacional e o possível declínio da população na Europa Ocidental resultam em menor consumo e volumes de transporte; • a urbanização reduz o consumo de material e energia per capita; • estagnação ou declínio nos níveis de renda reduz o consumo e aumenta a antiglobalização reduzindo o transporte internacional;
Tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • a automação contínua e a inteligência artificial mudam os sistemas logísticos e de transporte (por exemplo, terminais automatizados, impressão 3D, direção autônoma); • declínio na produção de produtos fósseis; aumento de portadores de energia renovável; mudança industrial e logística Atividades;
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • declínio no transporte de matérias-primas; • aumento no transporte de materiais reciclados e renováveis (muitas vezes de base biológica); • degradação do Ecossistema Ambiental, declínio dos recursos naturais já insuficientes na Europa e um novo foco em uma circular economia impulsiona atividades de reciclagem e <i>upcycling</i>; • mudanças climáticas afetam acessibilidade e competitividade dos portos (aumento do nível do mar), tempo de inatividade (clima extremo) e conexões da navegação fluvial; • a crescente pressão sobre os ecossistemas, em função da poluição e dos efeitos das mudanças climáticas, pode resultar em aumento de exportação de alimentos no exterior;

Economia	<ul style="list-style-type: none"> • perda de empregos em função da automação, robótica e inteligência artificial contínuas; • <i>offshoring</i> de empregos para países de baixos salários; esta tendência agora está se invertendo, mas no geral ainda há uma mudança de mão de obra para países de baixos salários; • forças de antiglobalização e criação de novas barreiras comerciais;
Energia	<ul style="list-style-type: none"> • forte crescimento da demanda de energia nos países em desenvolvimento e recém-industrializados requer novas fontes de energia; • o declínio de longo prazo nos retornos de energia sobre a energia investida (EROI) estimula uma mudança de fósseis para renováveis como estes últimos se tornam mais econômicos; • papel incerto do GNL como combustível de transição e taxa incerta de desenvolvimento de tecnologias relacionadas a energias renováveis e produção de combustível sintético;
Geopolítico	<ul style="list-style-type: none"> • as tensões geopolíticas aumentam o risco de ataques cibernéticos e outros ataques terroristas ou de guerra no porto; • espera-se que o encontro militar entre a OTAN e a Rússia resulte em sanções econômicas que afetam remessas de petróleo russo para a Europa e contêineres de transbordo da Europa para portos russos no mar Báltico; • o conflito dos EUA com a China pode reduzir severamente (ou paralisar) os volumes de contêineres entre a China e a Europa.

Fonte: Traduzido pelo Autor a partir de Van Dorsser; Taneja (2020).

Constata-se a convergência de Deloitte (2020), Van Dorsser e Taneja (2020) nos *drivers* de aspectos globais, com tendências para a otimização do uso de recursos

em especial os energéticos, e necessidade de soluções tecnológicas que mitiguem mudanças econômicas e sociais com potencial de impacto no setor portuário.

Van Dorsser e Taneja (2020) descrevem a transição para a sexta super onda (*6th K wave*) com o declínio da era da indústria pesada e o início da economia do conhecimento e a era da informação, as tendências tecnológicas como potenciais ferramentas para o alcance dos ODS entre elas:

- **desigualdade social:** o acesso à tecnologia será facilitado e de menor custo, provendo melhor qualidade de vida e oportunidades mais igualitárias, inclusive de ensino;
- **necessidade crescente de hiper conectividade e otimização de energia:** os dispositivos inteligentes (*smart devices*), também denominados como *IOTs* proporcionam o controle ótimo de processos em tempo real otimizando o uso de energia, contribuindo com o driver de sustentabilidade;
- **matriz energética descarbonizada (*zero carbon*):** a tendência tecnológica da 6ª onda K é de prover geração de energia mais limpa e sustentável com a diminuição de combustíveis fósseis.

Van Dorsser e Taneja (2020) apontam que os *drivers* de sustentabilidade e hiper conectividade digital são consenso entre estudos de referência.

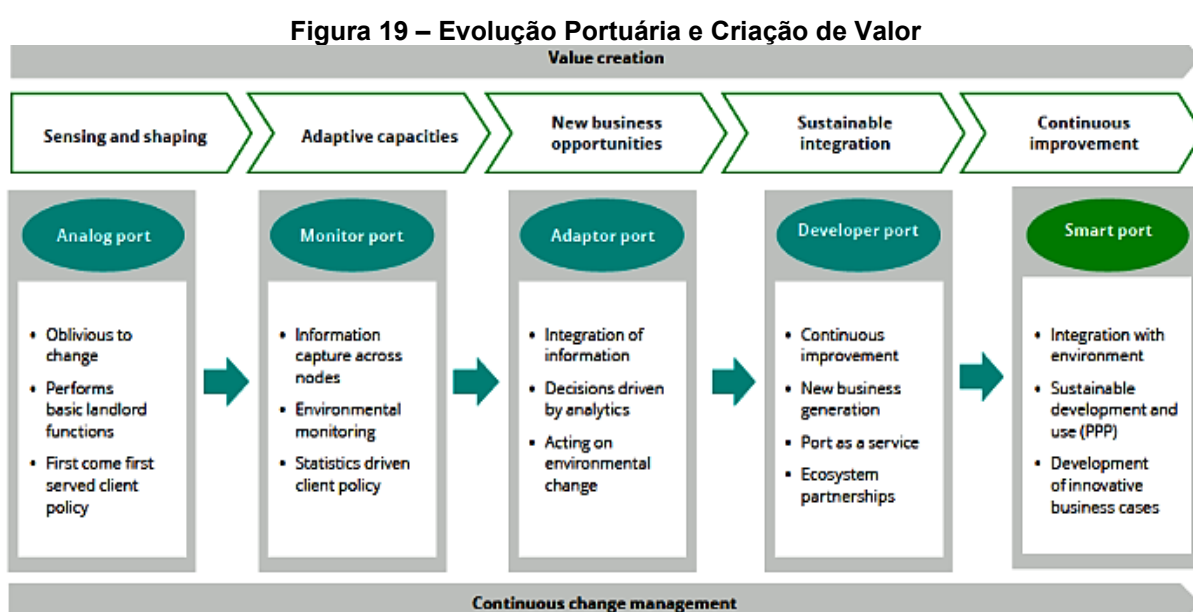
Os principais portos do mundo criaram agendas e *roadmaps*, indicando metas de curto, médio e longo prazo, cada qual utilizou metodologia própria. Em termos gerais, todos os estudos incluem as etapas de levantamentos de evidências, análise, discussão e apresentação dos resultados (Naniopoulos, 2000).

Inicialmente o levantamento de *drivers* externos foi usado para mapear as oportunidades e restrições que deverão ser atendidas e a construção de rotas apropriadas de PD&I para o atendimento destes objetivos, ressaltando ainda o levantamento das políticas de CT&I que deverão ser priorizadas para que se obtenha a utilização ótima de recursos tanto de capital intelectual quanto dos recursos materiais, os quais dentro da realidade do setor brasileiro em estudo são bastante limitados (Díaz-Bonilla et al., 2013; Unido, 2005a).

Os estudos levantados das tendências tecnológicas portuárias convergem na implantação dos chamados *smart ports* ou portos inteligentes por se caracterizarem como sistemas passíveis de controle e melhoria contínua pelo uso intensivo do

potencial da TIC¹⁵, e otimizando a utilização de recursos e desempenho, com estrutura adequada para atender às demandas dos *drivers* externos, assim como a maior oportunidade de criação de valor aos usuários do sistema. (Asian Development bank, 2020; Deloitte, 2020; Executive, 2015; HPA, 2016; Magellan, 2020; Mckinsey et al., 2018; Medports, 2015; Singapore, 2018).

A Figura 19 ilustra a criação de valor ao longo das fases de evolução dos portos, iniciando-se com a primeira geração de portos, mecanizados e com informações de processo analógicas e culminando no conceito de portos inteligentes, automatizados, sustentáveis e digitalizados.



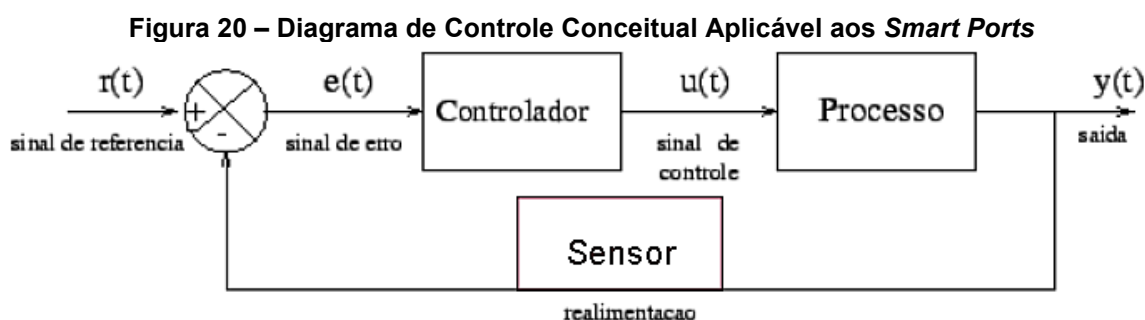
Nota-se presente nesta evolução as duas principais tendências tecnológicas para a criação de valor, sustentabilidade e transformação digital, requisitos fundamentais para o conceito de *smart ports*.

Portos são sistemas de muitas entradas, saídas e processos; o avanço tecnológico de sensores digitais que captam com precisão as grandezas físicas de máquinas e equipamentos, em tempo real, com baixa latência e confiabilidade proporcionam o uso de modelamento baseado na teoria de controle¹⁶ moderno

¹⁵ TIC: Tecnologias de informação e comunicação.

¹⁶ Controle: manter um sistema dentro do estado desejável atuando preventiva ou corretivamente para eliminar ou mitigar distúrbios externos (Ogata, 2011)

(Ogata, 2010) como ilustrado na Figura 20, para encontrar e manter o controle ótimo¹⁷ do sistema (Fernández-Cara; Zuazua, 2003).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A utilização da teoria de controle e automação por meio de sensores, controladores, atuadores e dispositivos acessórios gera a tendência de tecnologias digitais e *softwares* de captação e controle do fluxo de dados gerados pelos processos. Este sistema deve ser modelado de modo a manter e convergir as saídas dos processos nos parâmetros desejáveis, otimizando o desempenho geral do sistema, utilizando os fundamentos de teoria de controle para o seu modelamento.

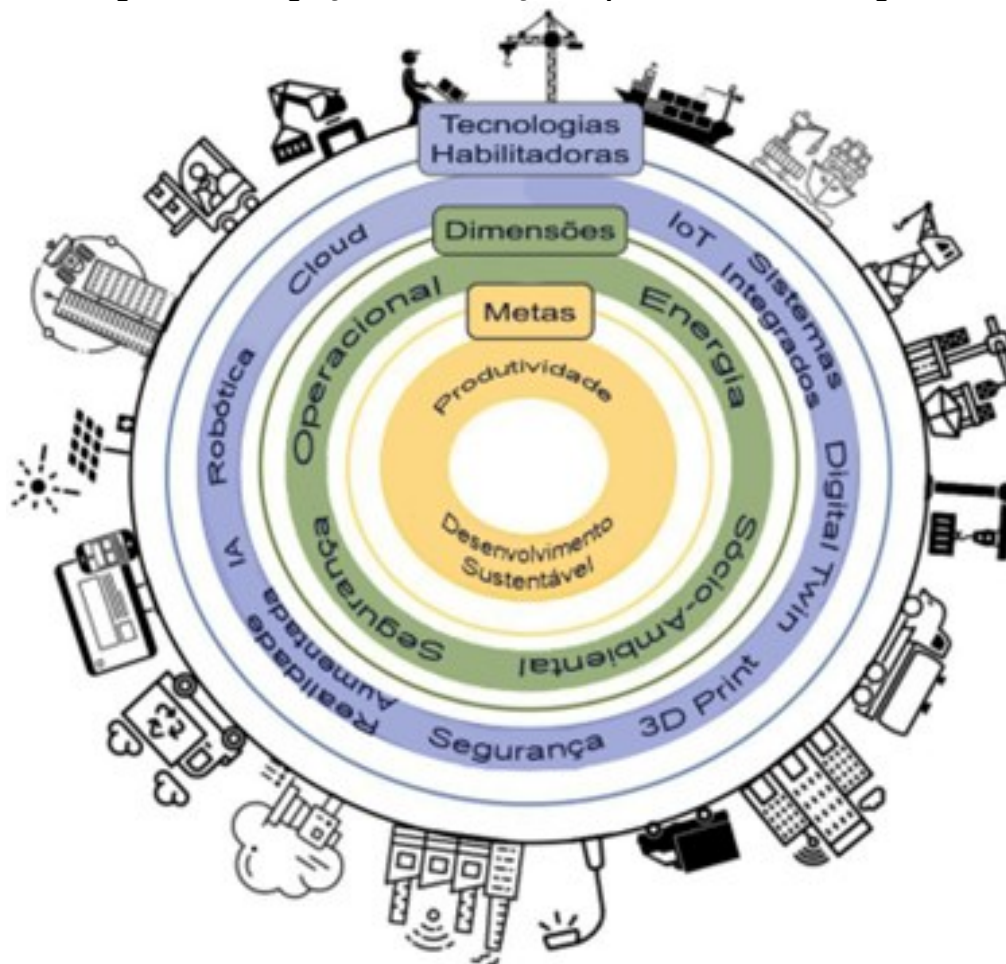
A representação do funcionamento dos *smart ports*, seus processos e tecnologias podem ser vistos na Figura 21. Esse sistema pode ser encarado como evolução dos portos em resposta à transformação digital, com a adaptação e utilização das tecnologias migrantes da indústria 4.0, chamadas de tecnologias habilitadoras, que potencializam as ferramentas de gestão e a teoria de controle para o equilíbrio entre entregas e recursos, gerando mais segurança, produtividade e conformidade socioambiental, com menor utilização de recursos materiais, humanos em especial os energéticos e ambientais (Demming, [s.d.]; González-Cancelas et al., 2020; Winkelmann, W; Notteboom, 2007).

As tendências tecnológicas observadas incluem o uso dos dispositivos inteligentes (*smart devices*) que possuem como característica a possibilidade de captação de grandezas físicas do estado, a comunicação integrada com outros dispositivos, o controle e a atuação no processo de forma autônoma ou remota, essa integração de dispositivos detalha as tecnologias na parte externa da ilustração

¹⁷ Controle ótimo: é o termo frequentemente associado ao melhor v dentre todos que satisfaçam a equação de estado $A(y) = f(v)$, onde y é o estado, v a variável de controle da função que atua no estado (Fernández-Cara; Zuazua, 2003).

atuando no nível operacional dos processos e na camada interna integrados ao nível tático e estratégico do sistema.

Figura 21 – Integração das Dimensões Operacionais e Estratégicas



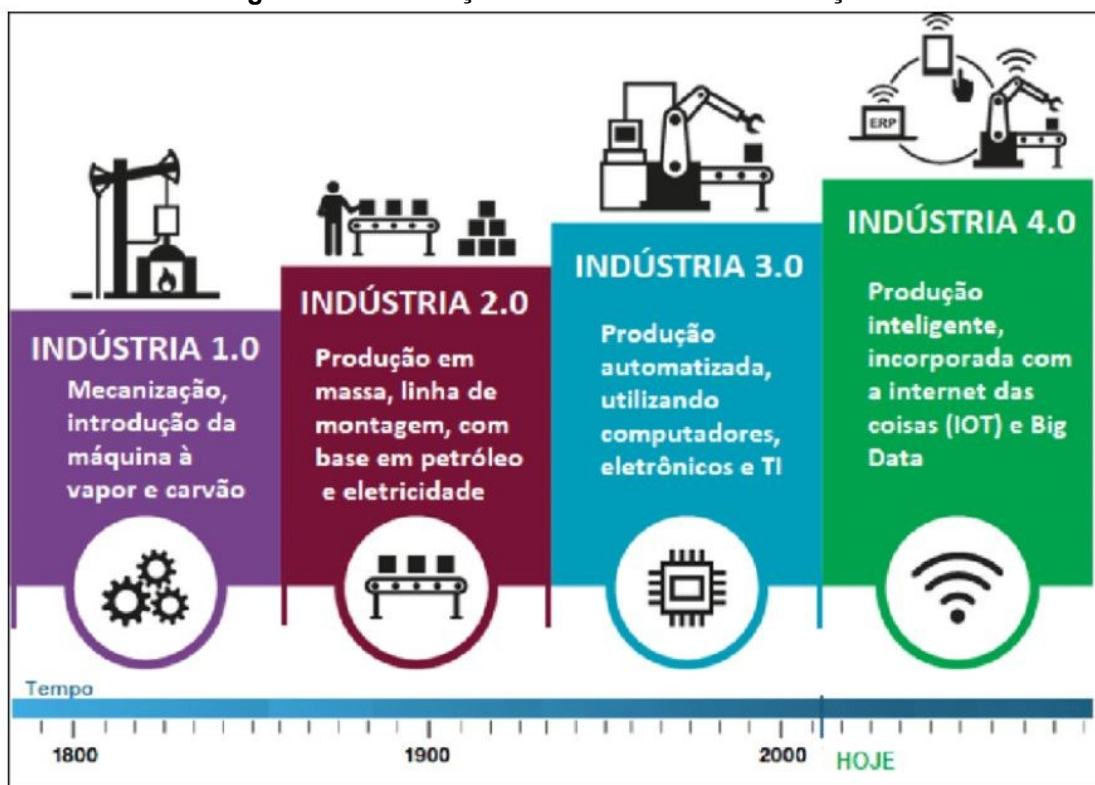
Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de D'Amico et al. (2021, p. 5).

Nota-se a possibilidade de integração de toda cadeia de valor na qual o setor portuário está inserido, incluindo as cidades e centros de distribuição e manufatura, o fluxo de informação em tempo real gera maior assertividade no planejamento e tomada de decisões, alinhando-se os objetivos estratégicos, táticos e operacionais, consequentemente entregando mais valor aos usuários do sistema portuário (Bastug et al., 2020; D'Amico et al., 2021; Robinson, 2002).

A evolução até a indústria 4.0, ilustrada na Figura 22, surgiu na Alemanha com o intuito de revitalizar seu setor produtivo nacional por meio da adoção de tecnologias digitais integradas com forte utilização da ciência de dados, valendo-se do alto poder computacional disponível e da aquisição em tempo real de dados dos dispositivos *IOTs*, que além de agir no monitoramento por meio de sensores também

podem desempenhar o papel de atuação e correção do sistema, agregando valor à manufatura pela alta eficiência e flexibilidade. Na América do Norte, o termo mais comum para a Indústria 4.0 é *Smart Factory* (Davis, 2016; Schwab, 2016).

Figura 22 – Revoluções Industriais e suas Inovações



Fonte: Adaptado pelo autor de SENAI – ES (2020).

Um longo caminho foi percorrido até atingir-se o atual patamar tecnológico, um ciclo virtuoso de inovações que modernizaram a indústria e criaram seus respectivos ciclos econômicos. Nota-se que as inovações trazidas pelas revoluções iniciaram com a mecanização (I 1.0), passando pela otimização de processos (I 2.0), automatização e TI (I 3.0), culminando nos chamados sistemas inteligentes, que agregam robótica colaborativa, TIC e conectividade (*IoT*s).

O Quadro 4 traz a síntese do papel das inovações em cada revolução industrial, sua contribuição e evolução obtida da tecnologia que sucedeu.

Quadro 4 – Síntese das Revoluções Industriais e suas Inovações

Revolução	Principais Inovações
I Revolução Industrial	<ul style="list-style-type: none"> Alteração da força motriz animal, do esforço humano e biomassa como fontes primárias de energia para o uso do vapor e de combustíveis fósseis resultando em maior potência mecânica;
II Revolução Industrial	<ul style="list-style-type: none"> grandes avanços na forma de distribuição de energia elétrica, comunicação sem fio e com fio, síntese de amônia e novas formas de geração de energia e produção em massa;
III Revolução Industrial	<ul style="list-style-type: none"> a Terceira Revolução Industrial começou na década de 1950 com o desenvolvimento de sistemas digitais, comunicação e rápidos avanços no poder computacional, que permitiram novas formas de geração, processamento e compartilhamento de informações;
IV Revolução Industrial	<ul style="list-style-type: none"> advento dos sistemas cyber-físicos, envolvendo capacidades inteiramente novas para pessoas e máquinas. Embora essas capacidades sejam dependentes das tecnologias e infraestrutura da III R.I., a IV R.I. representa maneiras inteiramente novas pelas quais a tecnologia se incorpora às sociedades e até mesmo aos nossos corpos humanos. Exemplos incluem edição de genoma, novas formas de inteligência de máquina, materiais inovadores.

Fonte: Adaptado pelo Autor de Davis, 2016.

Davis (2016) detalha a evolução tecnológica apresentada em cada revolução industrial, nota-se que as inovações em geração e distribuição de energia foram predominantes nas I e II revolução industrial, enquanto o conceito de sistemas surgiu na III revolução industrial e evoluiu principalmente nas áreas de TIC.

Diversos setores produtivos incorporaram as tecnologias desenvolvidas para o ambiente industrial, incluindo os portos, e as adaptaram para os seus contextos (Naniopoulos, 2000), as tecnologias constantes da Figura 23 dão suporte à implantação dessa quarta geração e são conhecidas como tecnologias habilitadoras

da indústria 4.0 (Wan; Cai; Zhou, 2015).

As tecnologias habilitadoras podem ser aplicadas em diversas áreas no setor portuário, a Figura 23 propõe um conjunto de aplicações que devem ser integradas para se alcançar as metas e objetivos relacionados aos *Smart Ports* (Asian Development Bank, 2020; De La Peña Zarzuelo; Freire Soeane; López Bermúdez, 2020a; Heikkilä; Saarni; Saurama, 2022; HPA, 2016; Magellan, 2020; Mckinsey et al., 2018; Paulauskas; Filina-Dawidowicz; Paulauskas, 2021; Radu, 2020; Wan; Cai; Zhou, 2015; Zheng et al., 2018).

Figura 23 – Tecnologias Habilitadoras 4.0 em *Smart ports*
Cloud Computing



Fonte: Euzebio (2022).

A proposta de utilizar o conjunto das tecnologias habilitadoras que potencializam os objetivos dos sistemas e processos inteligentes inclui o desenvolvimento tecnológico com uma visão integrada dos processos ao sistema no qual está inserido. Como diretriz desse desenvolvimento elaborou-se uma relação (não exaustiva) das tecnologias habilitadoras e suas possíveis aplicações:

- **Cloud Computing:** a computação em nuvem oferece aos clientes o estado da arte em *hardware* e *software* a um custo acessível e flexível oferecidos pelos grandes *players* do mercado de tecnologia, soluções de SaaS¹⁸,

¹⁸ SaaS: Software as a service: é a contratação sob demanda das soluções computacionais de sistemas.

armazenamento remoto, *firewalls* entre outras, podem ser contratadas de acordo com a necessidade e libera os portos da necessidade de alocar recursos fora do seu *core business*.

- **IoT**s: internet das coisas parte do princípio de que todas as coisas podem ser conectadas à rede central e entre si, os dispositivos *IoT*s são dotados de sensores para coleta e monitoramento de uma gama enorme de grandezas físicas, desde peso, luz, temperatura, velocidade, etc. Ainda possuem capacidade embarcada de analisar e processar os dados coletados, enviando-os pela rede e se assim programados acionando atuadores que farão a devida correção em tempo real dos parâmetros monitorados. Um dispositivo *IoT* tem atuação autônoma em casos de aproximação de risco de trabalhadores e/ou de outras intercorrências.
- **Sistemas Integrados**: os sistemas industriais geralmente são classificados de acordo com seu nível na operação, assim temos a partir do nível mais baixo do “chão de fábrica” sistemas de nível operacional, tático e estratégico (alta direção), quanto mais elevado o nível do sistema, mais próximo da direção do negócio e mais relevantes serão as informações para a tomada de decisão dos gestores. Os sistemas *ERPs* tendem a integrar em tempo real os dados e informações que trafegam ao longo da cadeia produtiva do negócio; portos são sistemas extremamente complexos com variáveis de naturezas bem distintas, do monitoramento de marés, planejamento de *lineup* de navios, planejamento de berço, pátio e condições de acessos, todos esses sistemas tendem a ser integrados para que se possa extrair o máximo de planejamento, controle e previsibilidade auxiliado por processamento computacional.
- **Simulação Cyber-Física**: também conhecida como gêmeos digitais (*digital twin*), a simulação cyber-física é primordial no monitoramento do ambiente portuário no contexto dos *smart ports*. Parte-se do princípio de que para a sua implantação o ambiente real possa ser digitalizado com fidelidade e seu controle ser realizado de forma computacional, sendo possível extrapolar cenários com rapidez, segurança e baixo custo, os quais não seriam possíveis em modelos físicos ou puramente numéricos.

- **Manufatura Aditiva:** no contexto portuário a manufatura aditiva oferece grande flexibilidade nas operações de manutenção, portos recebem uma infinidade de equipamentos de transporte e operação de vários padrões e fabricantes, sendo assim a possibilidade de se produzir peças de reposição a partir de um catálogo digital alimentando uma impressora 3D reduz o tempo de parada de operação e infinitamente os custos de manutenção, além de liberar o espaço alocado para estoque de peças para esse propósito.
- **Facility and Cyber Security:** a camada de segurança estendeu-se da área operacional, do acesso físico às instalações e passou a integrar os dados, que com o fenômeno da digitalização inclui informações comerciais e operacionais sensíveis. Os equipamentos fortemente automatizados e conectados à rede, incrementam ainda mais a necessidade dessa camada de segurança.
- **Realidade Aumentada:** uma evolução da realidade virtual, em que é possível reproduzir o ambiente real em um cenário digitalizado. A realidade aumentada projetada por meio de uma camada de imagem seja por visor ótico ou telas translúcidas, informações no ambiente real úteis à operação e controle, tem um campo de aplicação promissor em manutenção e treinamento de áreas de risco como elétrica e maquinário pesado.
- **Big Data e IA:** a tecnologia 4.0 potencializa o poder computacional, para isso necessita-se de dados que podem ser providos da *big data*. Os mais diversos tipos de dados podem ser úteis à operação portuária, como meteorológicos, de marés, rotas e fretamentos marítimos. A disponibilidade de dados em meio digital cria a oportunidade da análise e previsão de cenários por inteligência artificial e outros meios computacionais, gerando maior confiabilidade e previsibilidade às análises estratégicas.
- **Robótica e Mecatrônica:** os dispositivos robóticos e mecatrônicos oriundos da indústria 3.0 evoluíram em seu *hardware* por meio de materiais mais resistentes e eletrônica miniaturizada e mais robusta para ambientes insalubres como os portos; seus dispositivos de controle e atuação podem, em muitos casos, agir autonomamente sem nenhuma intervenção humana

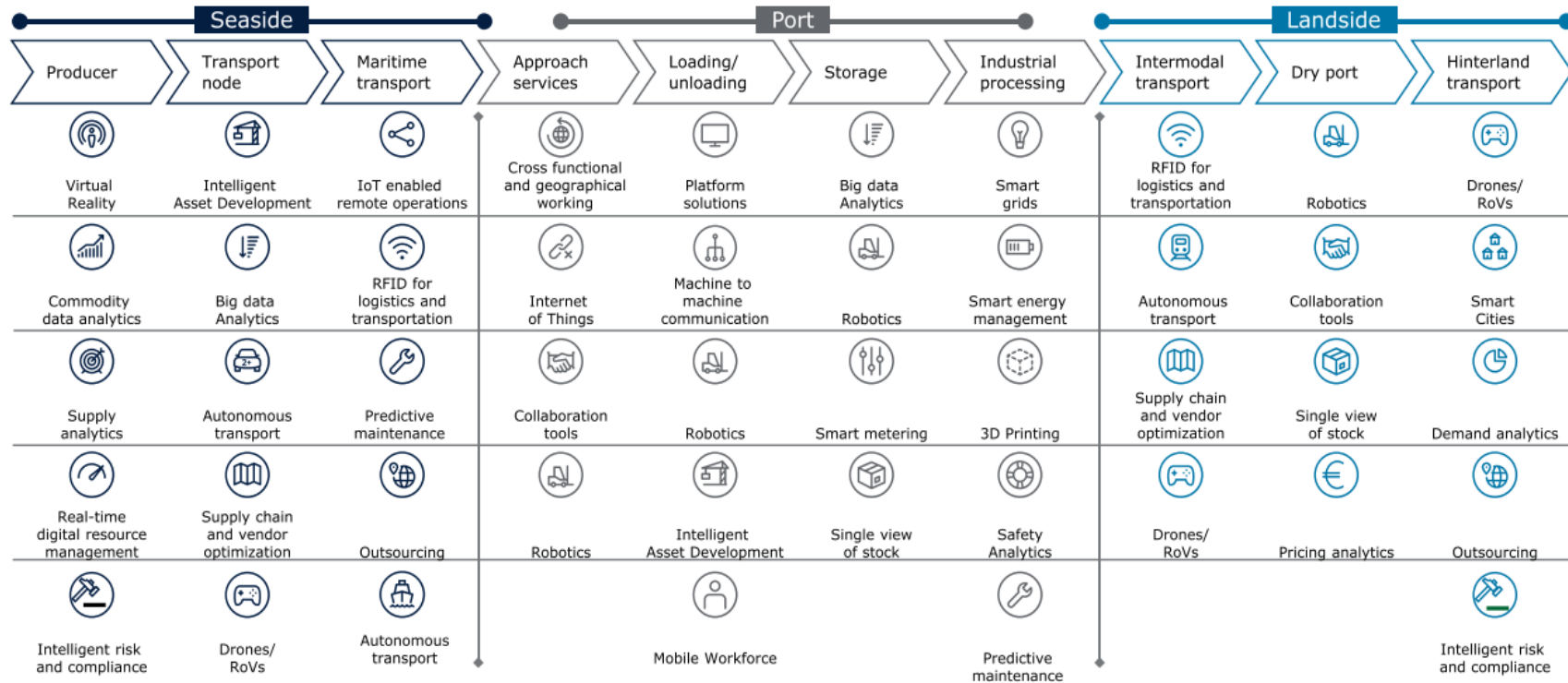
por inteligência artificial, aprendizado de máquina e aprendizagem profunda (*deep learning*).

Na Figura 24 o relatório Global Port Trends 2030 (Deloitte, 2020), apresenta os micro drivers tecnológicos propostos para o sistema portuário, algumas dessas soluções já são comerciais e outras apresentadas como tendências das tecnologias habilitadoras 4.0. O levantamento assemelha-se ao processo SIPOC (suppliers, inputs, outputs, customers), onde são levados em consideração os atores envolvidos e as entradas e saídas dos processos portuários e suas interações (Souza et al., 2022).

Figura 24 – Inovações Tecnológicas Portuárias por Área de Aplicação

Technological drivers | Increase in innovations

Ports are increasingly implementing innovations in the entire value chain with a wide range of used technologies



Note: Non exhaustive Source: Monitor Deloitte - Deloitte Port Advisory

Deloitte (2020), ao apresentar a lista reforça a tendência tecnológica dos dispositivos *smart* e equipamentos autônomos; cabe ainda ressaltar que a lista não é exaustiva, a própria característica disruptiva das inovações pode alterar esse panorama. Por fim nota-se a predominância dos dispositivos digitais para controle, processamento e correção dos sistemas de forma colaborativa e integrada (Executive, 2015; Lee; Phaal; Lee, 2013; Lloyd; Lloydsregister, 2014; Paulauskas; Filina-Dawidowicz; Paulauskas, 2021; Singapore, 2018).

A Empresa de Planejamento e Logística (EPL) (2020) apresentou o estudo das tendências tecnológicas no âmbito da logística e seus modais de transporte consolidado no Quadro 5, o estudo baseou-se entre outros no relatório executivo do WEF (2016), e analisou as inovações tecnológicas à luz da transformação digital e apresenta o levantamento do status das tecnologias no Brasil, suas tendências, o horizonte temporal de implantação os impactos esperados e o modal de transporte com potencial de ser impactado.

Quadro 5 – Consolidação das Tendências Tecnológicas por Modal

Inovação	Status no Brasil	Tendência	Amplitude esperada	Ano de alcance da amplitude	Obs	Impactos estimados	Modo de transporte afetado
Transformação digital na logística (IoT, Big Data, IA, Advanced Analytics)	Experiências isoladas implantadas ou em implantação	Crescimento significativo em curto prazo. Tecnologia disponível e de baixo custo.	32% do sistema rodoviário, 50% do ferroviário, 50% do aquaviário.	2025	Estimativa baseada na participação de empresas organizadas na logística. Proxy da quantidade de carga movimentada no modo rodoviário por empresas organizadas x autômos (63%). 100% do ferroviário. 100% do aquaviário. Segundo WEF, 50% do rodoviário estaria implantando tais inovações em 2025 (50% em 10 anos). traçando a reta, 2030 já estaria no patamar de 63%.	Aumento das taxas de aproveitamento veicular em até 5% (3,15% no rodoviário, 5% nos demais modos)	Todos
			63% do sistema rodoviário, 100% do ferroviário, 100% do aquaviário.	2030		Redução de custos de manutenção em até 30% (18,9% no rodoviário, 30% nos demais)	Todos
						Redução de custos pela roteirização mais eficiente em 5% para o rodoviário	Rodoviário
Transformação digital na logística (App de sharing)	Experiências isoladas implantadas ou em implantação	Crescimento significativo em curto prazo. Tecnologia disponível e de baixo custo.	15% do sistema rodoviário	2025	Estimativa baseada na expectativa do WEF para 2025 em dólares, aplicada na matriz modal de valor para o rodoviário. Estimativa de crescimento para 2035 baseada na linha de tendência reta.	Redução de 3,19% no custo operacional	Rodoviário
			30% do sistema rodoviário	2035			

Inovação	Status no Brasil	Tendência	Amplitude esperada	Ano de alcance da amplitude	Obs	Impactos estimados	Modo de transporte afetado
Caminhões elétricos	Experimental	Crescimento gradativo impulsionado pela transição de veículos leves.	70% dos veículos com payload abaixo de 1T novos (ponderar pela taxa de renovação)	2035	Estimativa de impacto calculada com dados do estudo de Macharis et al., 2013	Redução de 13,7% no custo para caminhões com payload abaixo de 1Ton	Rodoviário
		Perspectiva de longo prazo devido às necessidades de alterações na indústria e cadeia de abastecimento	10% dos veículos rodoviários de carga novos (ponderar pela taxa de renovação)	2035	Estimativa conservadora extrapolada para veículos maiores - calculada com dados do estudo de Macharis et al., 2013	Redução de 6,85% no custo para caminhões	Rodoviário
Caminhões autônomos	Experimental	Desenvolvimento lento e dependente de infraestrutura de transporte e telecomunicações	Somente em âmbito urbano (última milha)			Sem impacto para simulação do PNL 2035	Rodoviário
Locomotivas autônomas (de carga)	Inexistentes	Tecnologia disponível e ambiente favorável, mas	Sem perspectiva			Sem impacto para simulação do PNL 2035	Ferrovário

Inovação	Status no Brasil	Tendência	Amplitude esperada	Ano de alcance da amplitude	Obs	Impactos estimados	Modo de transporte afetado
		sem estímulo econômico					
Trens de alta velocidade e novas tecnologias de transporte ferroviário	Inexistente para transporte de cargas	Tecnologia disponível	Somente para novos projetos			Particular de cada projeto	Ferroviário
Mega embarcações de containers	Em operação	Estabilidade	Sem perspectiva		Devido ao alcance de um nível ótimo de economia de escala, não considerar impactos significativos em cenários futuros.	Sem impacto para simulação do PNL 2035	Aquaviário
Eficiência da propulsão dos navios	Em operação	Evolução significativa, implantação lenta, mas já refletida em parte da atual frota	De acordo com a taxa de renovação da frota (média de 4,3% a.a.)	2035	Estudar as curvas de frete e custos dos últimos 10 anos (ITF, 2015) no Brasil e extrapolar comportamento para o futuro, simulando a renovação da frota. A curva do frete da cabotagem apresenta tx média de -6,39% a.a.. Idade média da frota cabotagem e interior: 15,4 anos (ONTL). Mundo: 20 anos (https://unctad.org/en/Pages/Publications/Review-of-Maritime-	Redução do custo de cabotagem em 2,21% até 2035	Marítimo - cabotagem
			De acordo com a taxa de renovação da frota (média de 7,98% a.a.)	2035		Redução do custo de navegação em LC em 3,99% até 2035	Marítimo - longo curso

Inovação	Status no Brasil	Tendência	Amplitude esperada	Ano de alcance da amplitude	Obs	Impactos estimados	Modo de transporte afetado
					Transport-(Series).aspx). Considerado que a eficiência operacional será aplicada nas novas embarcações que venham a compor o sistema.		
Portos inteligentes	Experimental	Tecnologia disponível e ambiente favorável	100% dos portos organizados	2035	Considerar que somente os portos organizados investirão na tecnologia	Redução de custo portuário em 10%	Marítimo - portos
Rodovias inteligentes	Experimental	Tecnologia disponível e ambiente favorável	Novas concessões ou reconcessões no horizonte do plano	2025	Cenário 9 (Ino@BR). Redução de 10% nos custos de manutenção das rodovias concedidas (indicador de desembolso) Fonte (National ICT Australia, 2014).	Sem impacto para simulação do PNL 2035	Rodoviário
Drones e aeronaves VTOL para entregas de mercadorias	Inexistentes	Tecnologia disponível, com demandas regulatórias e legais	8,5% das matrizes de produtos com tendência para o transporte aéreo, para O/Ds em UTPs de grandes concentrações urbanas.	2035	80% da matriz de transporte aérea de cargas é composta pelos produtos: 34, 17, 18, 27, 26, 33 e 12. Considerar esses como produtos com tendência para o transporte aéreo e reduzir as demandas em até 8,5% (considerar o desconto atual como parte desses 8,5%). Somente das O/D pertencentes às UTPs de grandes concentrações urbanas	Redução do número de viagens terrestres em algumas matrizes conforme o resultado da simulação após desconto da demanda.	matriz de superfície

Inovação	Status no Brasil	Tendência	Amplitude esperada	Ano de alcance da amplitude	Obs	Impactos estimados	Modo de transporte afetado
Aeronaves VTOL (autônomas ou tripuladas) para transporte de pessoas	Inexistentes	Crescimento à longo prazo	Inicialmente, em âmbito urbano		Potencial para redução do tráfego intermunicipal em aglomerações urbanas. Porém, de difícil mensuração de impacto e sem perspectiva próxima para o Brasil.	Sem impacto para simulação do PNL 2035	Rodoviário
MaaS	Experiências implantadas ou em implantação	Crescimento significativo em curto prazo. Tecnologia disponível e de baixo custo.	Inicialmente, em âmbito urbano		Potencial para redução do tráfego intermunicipal em aglomerações urbanas. Porém, com baixos impactos mapeados, principalmente no que tange aos fluxos interurbanos.	Sem impacto para simulação do PNL 2035	Rodoviário
Veículos elétricos	Experiências implantadas ou em implantação	Crescimento significativo em curto prazo. Tecnologia disponível, mas falta estímulo econômico e legislação	15% dos veículos leves	2035	Considerando metade da amplitude projetada por Bloomberg NEF (2020) para o mundo, levanto em conta a inexistência de legislação brasileira e a transformação exigida da indústria automobilística e de combustíveis.	Redução de 8% nas emissões	Rodoviário

Fonte: EPL, 2020.

As tendências apontadas por EPL (2020), somam-se em convergência aos autores citados previamente neste estudo em relação à eficiência energética, utilização de fontes sustentáveis de energia, utilização das ferramentas suportadas pela TIC para tomada de decisões estratégicas e predição de cenários, assim como a utilização de veículos autônomos. Porém, estes ainda carecem da devida regulamentação e normatização técnica dos órgãos responsáveis nacional e internacionalmente.

De acordo com a nota técnica: Ecosistema de Inovação em Portos (BID, 2023), o estabelecimento de um ecossistema de inovação no ambiente portuário é fundamental para impulsionar a transformação em direção aos portos inteligentes. A presença de diversas empresas inter-relacionadas nesse setor exige uma abordagem colaborativa para superar os desafios e aproveitar as oportunidades apresentadas pela inovação. A criação de um ambiente propício para a cooperação e o compartilhamento de conhecimentos é essencial para promover o desenvolvimento de soluções inovadoras e este ambiente deve ser desenvolvido considerando-se os seguintes itens como primordiais:

- **Cooperação Intensiva para Inovação:** no ambiente portuário, a cooperação intensiva entre as empresas é um fator-chave para alcançar a implementação bem-sucedida de tecnologias inovadoras. Essa cooperação envolve a troca de conhecimentos técnicos, experiências e recursos entre os participantes do ecossistema de inovação. Por meio da colaboração é possível identificar desafios comuns e desenvolver soluções que beneficiem a todos os envolvidos. Além disso, a cooperação entre empresas, institutos de pesquisa, incubadoras, governos e associações industriais permite a sinergia entre diferentes áreas de conhecimento e expertise, impulsionando a inovação no ambiente portuário.
- **Impacto na Competitividade do Porto e seus Stakeholders:** a implementação de um ecossistema de inovação no ambiente portuário tem um impacto significativo na competitividade do porto, bem como na comunidade e usuários envolvidos. A introdução de tecnologias inovadoras melhora os processos operacionais, reduz custos, aumenta a eficiência e a segurança, proporcionando uma vantagem competitiva para o porto. Além disso, a inovação estimula o desenvolvimento de novos serviços e negócios,

criando oportunidades econômicas para a comunidade local. Os usuários do porto também se beneficiam com a melhoria dos serviços e infraestruturas, aumentando sua satisfação e fidelidade.

- **Fatores Habilitadores da Inovação no Ambiente Portuário:** além da cooperação intensiva entre os participantes do ecossistema de inovação, fatores como cultura de tomada de risco, regulamentação adequada e cooperação entre os atores envolvidos são essenciais para impulsionar um ambiente que potencialize a inovação.

2.3 TECHNOLOGY FORESIGHT – PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

Segundo Marcial (2019) o termo “prospectiva” foi cunhado em meados dos anos 1950 pelo filósofo Gastor Berger, que se utilizou do termo francês “*la prospective*” e difundiu-se no seu equivalente “*foresight*” da língua inglesa.

No Brasil, o termo “prospecção” está associado aos termos “estudos de futuro e prospectiva”. Nas bases de dados em inglês, os termos mais empregados são “*forecast(ing)*, *foresight(ing)* e *future studies*”, na França, importante centro destes estudos, são adotados os termos “*Veille Technologique*, *Futuribles* e *La Prospective*”, a maioria dos autores designa “cenários” como uma das metodologias ou métodos usados na realização de estudos prospectivos ou de futuro (Coelho; Coelho, 2003).

Godet e Roubelat (1996) citam que os cenários possíveis e plausíveis não são igualmente prováveis ou desejáveis, com isso, é necessário fazer uma distinção entre os cenários envolvidos e as estratégias dos atores.

A prospecção é tida como a disciplina que se esforça por antecipar para esclarecer a ação presente, à luz dos múltiplos futuros possíveis e desejados (Godet; Durance, 2011).

O Grupo de Excelência em Processo Prospectivo e Construção de Cenários (GEPCC) vinculado ao Conselho Regional de Administração de São Paulo (CRA/SP), criado em 2018 tem como missão contribuir para a construção da visão estratégica do futuro de organizações públicas e privadas e de territórios, por meio do processo prospectivo e construção de cenários, formado por pesquisadores e profissionais especialistas em estudos de futuro com foco na prospecção estratégica.

O grupo apresenta o seguinte conceito do processo prospectivo:

Processo prospectivo é a antecipação para orientar a ação de construir a visão estratégica do futuro com apropriação, que implica enxergar longe, com amplitude, com profundidade, com ousadia e tomar riscos, pensar no ser humano, ver de maneira diferente, ver juntos, e utilizar técnicas e métodos pedagógicos, rigorosos e participativos (CRA/SP, 2018).

O conceito de antecipação pressupõe um processo de busca voltado à identificação de eventos futuros, por meio da interpretação de sinais obtidos no presente (Janissek-Muniz, 2015).

Prospecção tecnológica designa atividades centradas nas mudanças tecnológicas, em mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação (Coelho; Coelho, 2003), visa incorporar informação ao processo de gestão tecnológica, tentando predizer possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas, visa o apoio ao processo decisório e tem como principais objetivos:

- maximizar os ganhos e minimizar perdas em função de ações internas ou externas à organização;
- orientar a alocação de recursos;
- identificar e avaliar oportunidades ou ameaças no mercado;
- orientar o planejamento de pessoal, da infraestrutura ou recursos financeiros;
- desenvolver planos administrativos, estratégias ou políticas, incluindo a análise de risco;
- auxiliar a gestão de PD&I;
- avaliar novos processos ou produtos (Cuhls; Grupp, 2001).

No enfoque do desenvolvimento de políticas públicas indicam-se os principais objetivos da prospecção:

- ter mais ampla escolha de oportunidades para estabelecer prioridades e avaliar impactos e possibilidades;
- prospectar os impactos das pesquisas atuais e da política tecnológica;
- descobrir novas demandas, novas possibilidades e novas ideias;
- focar seletivamente as áreas econômica, tecnológica, social e ambiental, bem como iniciar o monitoramento e pesquisa detalhados nesses campos;
- definir os futuros desejáveis e indesejáveis;
- iniciar e estimular o processo de discussão contínua.

Foresight é o termo aplicado aos estudos que têm por objetivo antecipar e

entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (Coates, 2001).

Zackiewicz e Salles Filho (2001) definem o processo de *TF* como:

[...] o processo envolve o reconhecimento explícito que os desenvolvimentos tecnológicos e científicos dependem de escolhas feitas pelos atores no presente, isto é, não estão determinados apenas por alguma lógica intrínseca, nem acontecem de maneira independente e aleatória. O exercício de prospecção consiste em tentar antecipar-se a estes avanços e posicionar-se de modo a influenciar na orientação das trajetórias tecnológicas, o que do ponto de vista evolucionista significa lançar-se à frente e garantir a competitividade e sobrevivência das instituições de pesquisa e, por extensão, dos usuários de seus resultados.

De acordo o *Technology Foresight Manual* (Unido, 2005a) a aplicação da técnica de *TF* estende-se para os domínios tecnológicos e não tecnológicos, considerando-se tanto questões econômicas, sociais e culturais quanto os desenvolvimentos tecnológicos.

Segundo Ben Martin, *apud* Cuhls; Grupp (2001) *TF* é o processo envolvido na tentativa sistemática de olhar para o futuro a longo prazo da ciência, tecnologia, economia e sociedade com o objetivo de identificar as áreas de pesquisa estratégica e as tecnologias genéricas emergentes suscetíveis de produzir os maiores benefícios econômicos e sociais.

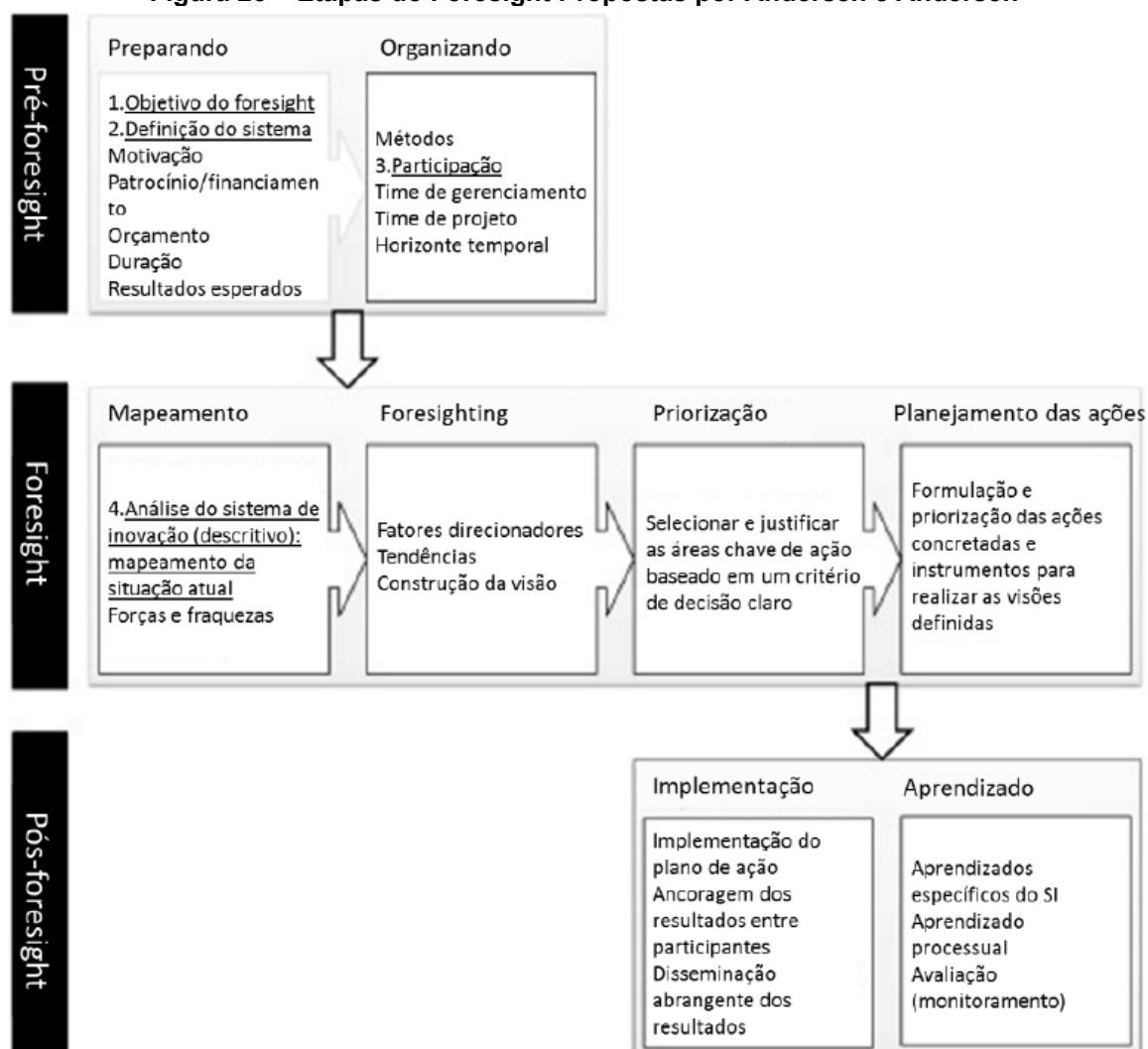
Andersen e Andersen (2014) propõem na Figura 25 um *framework* com as etapas de *pre-foresight*, *foresight* e *post-foresight*. As etapas e seus objetivos são:

(i) ***pre-foresight***: inclui entre outros os processos de definição de escopo, seus objetivos, recursos materiais e humanos disponíveis, alocação de equipes e tarefas e escolha das metodologias do *foresighting*;

(ii) ***foresight***: é mapeado o objeto de estudo, realizado o *foresighting* e as saídas do processo são definidas por meio dos critérios preestabelecidos, é criado então, o planejamento das ações a serem implementadas;

(iii) ***post-foresight***: os resultados são difundidos interna e ou externamente à rede e criado o plano de implementação com as ações de aprendizado e monitoramento. (Coelho; Coelho, 2003; Unido, 2005a, 2005b).

Figura 25 – Etapas do Foresight Propostas por Andersen e Andersen

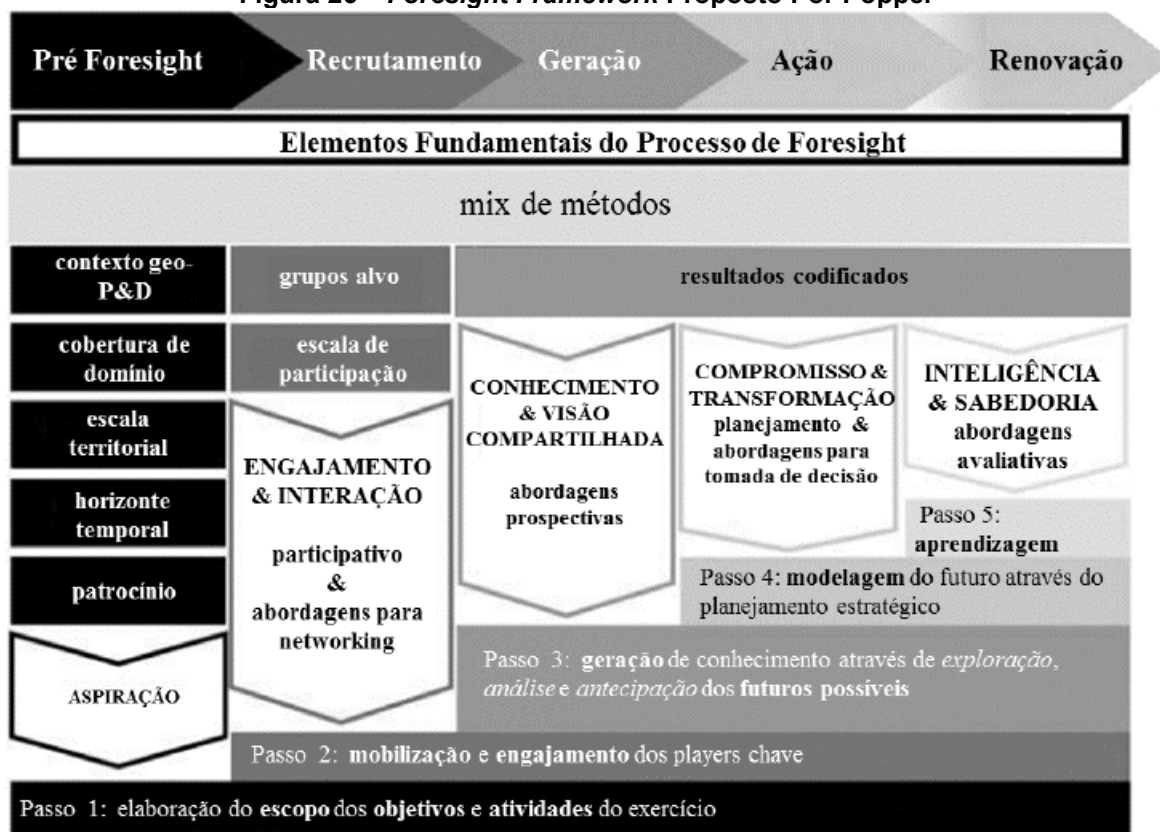


Fonte: Andersen; Andersen (2014).

A metodologia proposta por Andersen e Andersen (2014) é descrita por uma matriz de fases e atividades, sendo de aplicação objetiva e abrangente. Nota-se que no processo de aprendizado é previsto um último processo de avaliação e aprendizado que poderá ser aplicado ao fluxo contínuo e resultar no incremento de qualidade do processo.

Popper et al. (2008) desmembram as etapas do *foresight* indicando na Figura 26 os passos e respectivas tarefas para que os objetivos definidos do *pre-foresight* sejam alcançados, note-se ainda a ênfase na possibilidade de um mix de métodos nos processos envolvidos em cada fase (Popper et al., 2008).

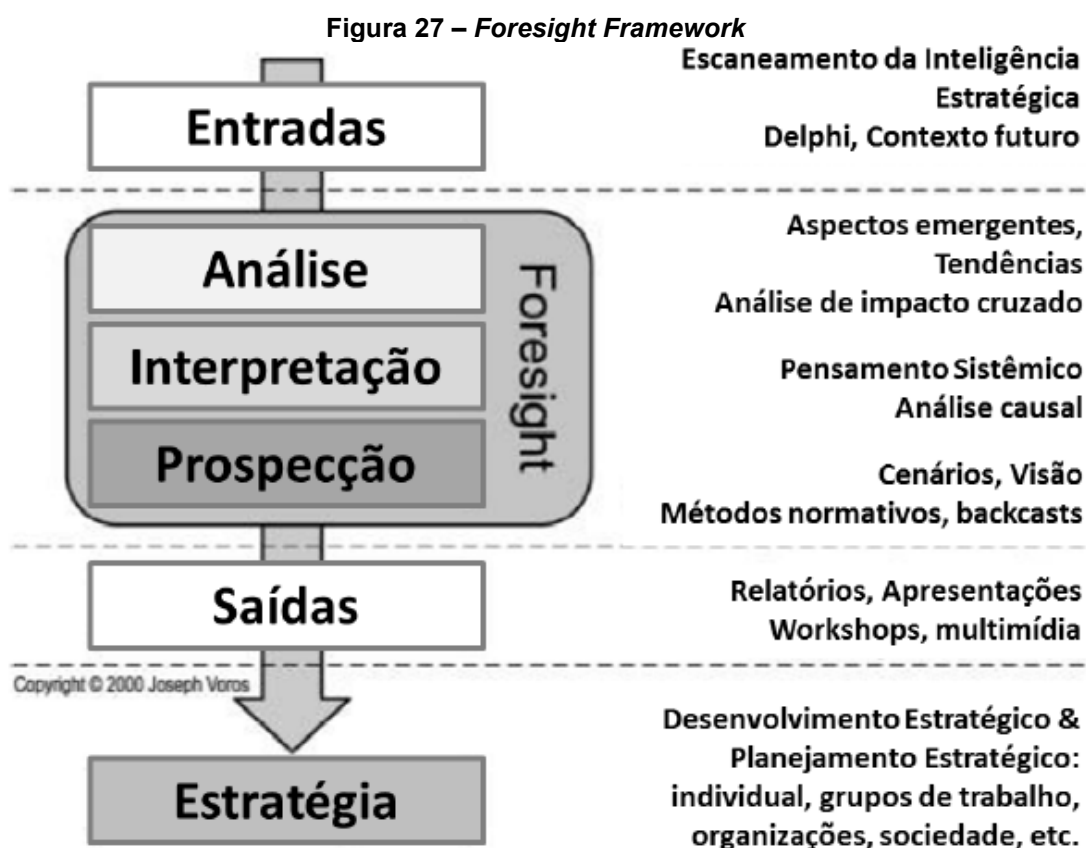
Figura 26 – Foresight Framework Proposto Por Popper



Fonte: Adaptado de Popper por Haddad (2016, p. 73).

As estruturas funcionais dos modelos apresentados incluem o processo de realimentação de dados para o aprendizado e melhoria contínua (Andersen; Andersen, 2014; Haddad, 2016), analogamente à teoria de controle moderno citada como referencial teórico da metodologia de *TF* proposta (Ogata, 2010), sendo a fase de aprendizado uma retroalimentação de informações para se corrigir e melhorar o processo do *TF*, assim como um controle em malha fechada.

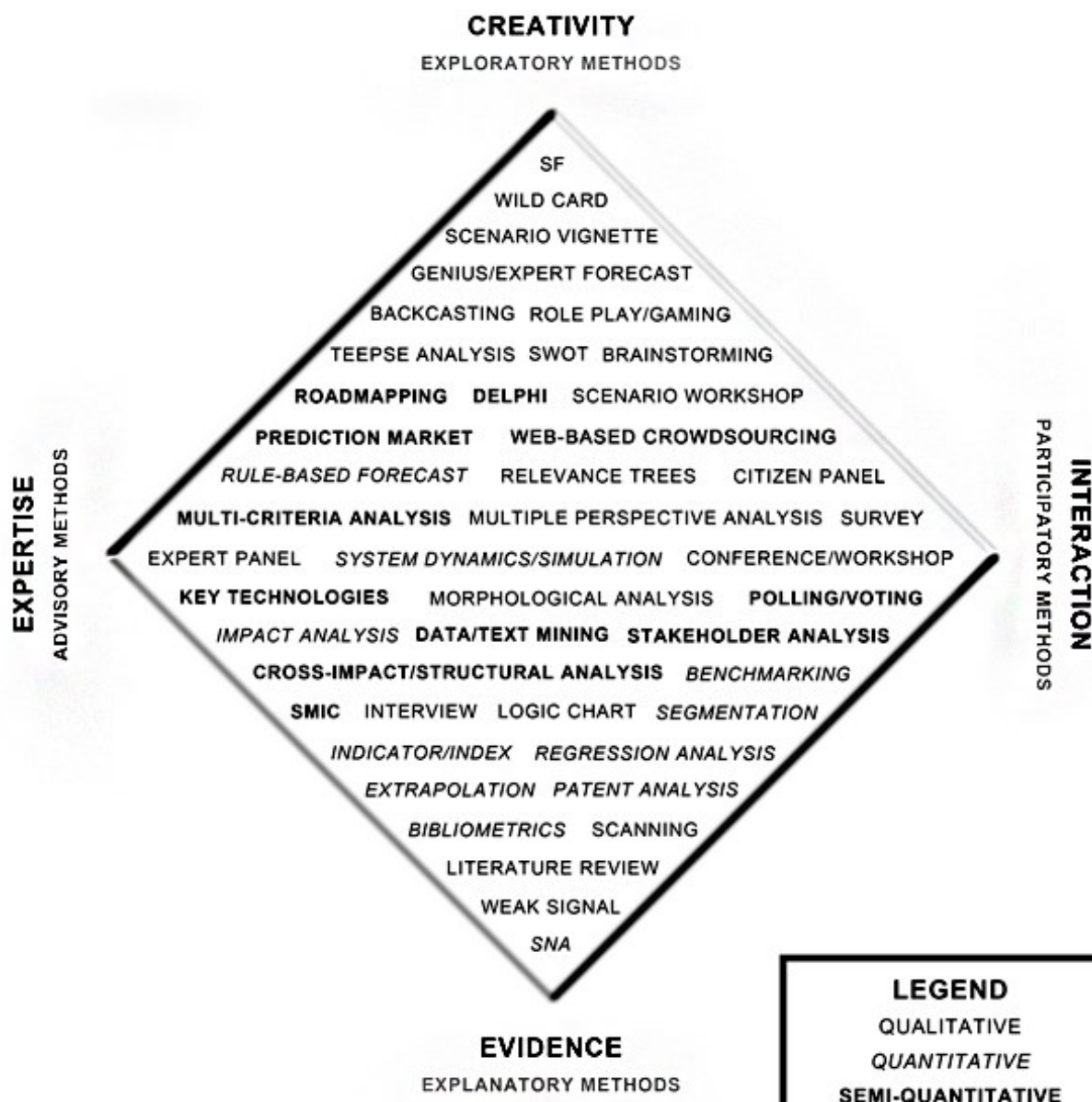
Voros (2003) apresenta na Figura 27 uma estrutura de processo do *foresight* similar ao diagrama de controle em malha aberta, com a aquisição de dados (entradas), o processamento (*foresight*) e as saídas que alimentarão os relatórios, sem previsão de retroalimentação com processos de aprendizagem.



Fonte: Voros (2003).

Pode-se observar que o autor indicou para cada processo uma gama de metodologias aplicáveis, a escolha de determinada metodologia ou mesmo a associa o delas depende entre outros do escopo, tempo e orçamento do processo de *foresight* (Voros, 2003).

O Manual de *TF: Conceitos e Práticas* (Popper et al., 2008), apresenta na Figura 28 diversos métodos aplicáveis ao *foresighting*, dessa forma   possível adequar a escolha dos métodos de acordo com a abordagem, escopo e objetivo do *TF*.

Figura 28 – O Diamante do *Foresight* de Popper et al

Fonte: Popper et al. (2008, p. 71).

Nota-se que existem quatro vértices classificando as metodologias por meio dos seus tipos (exploratórias, participativas, explanatórias e consultivas). O diagrama indica ainda o tipo de abordagem de cada método (qualitativo, quantitativo ou semiquantitativo).

2.3.1 *Technology Roadmap* – TRM

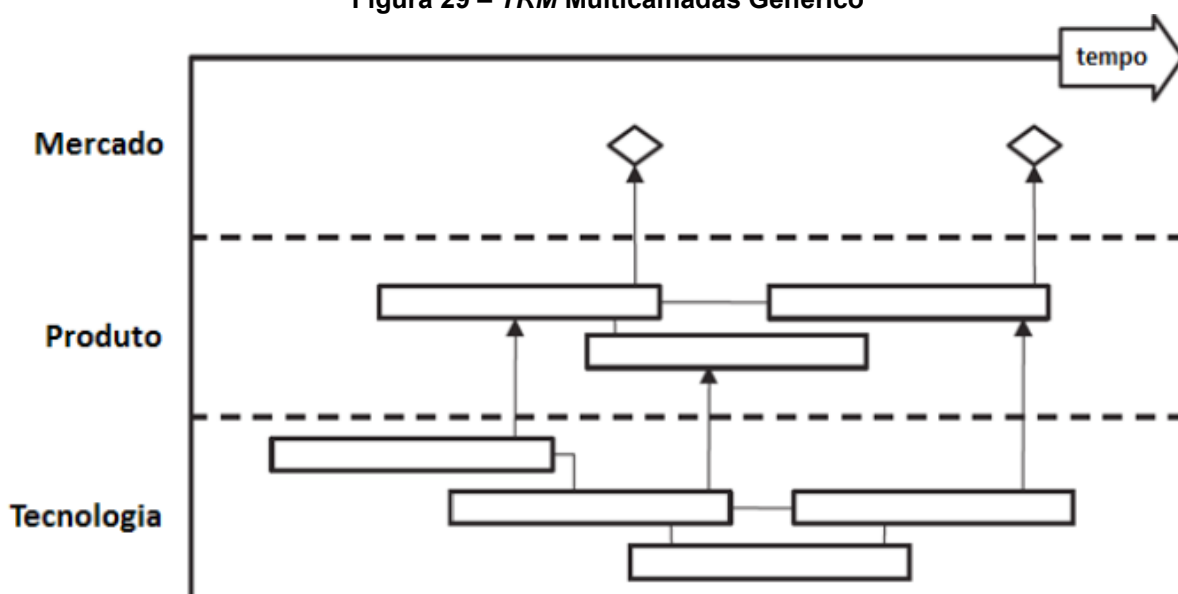
Na obra *Prospecção Tecnológica*, Ribeiro et al (2018b), apresentam as seguintes considerações sobre o *TRM*:

O *Roadmap* Tecnológico pode ser visto como uma representação visual que permite o gerenciamento do futuro da tecnologia e tem sido desenvolvido

para os mais diversos públicos e especificidades. Trata-se de um plano estratégico que descreve os passos que uma organização deve seguir para alcançar os resultados e os objetivos declarados. O *Roadmap* descreve claramente as ligações entre as tarefas e as prioridades de ação a curto, médio e longo prazo e apresenta um roteiro eficaz que conecta tecnologia, produtos e mercados em níveis elevados de abstração.

Na Figura 29 os autores apresentam uma forma genérica de *TRM* tendo o eixo “y” as camadas tecnologia, produto e mercado. Ressalta-se que este é um modelo genérico podendo ser alterado de acordo com as necessidades de representação das informações de cada *roadmap*. No eixo “x” está representado o tempo; alguns autores mensuram o tempo em anos e outros em fases sem dimensionar o mesmo, podendo ser por períodos de tempo “curto, médio, longo”. Esta escolha deve-se ao potencial disruptivo das tecnologias envolvidas não obedecer necessariamente a prazos predeterminados.

Figura 29 – *TRM* Multicamadas Genérico



Fonte: Adaptada de Borschiver e Silva (2016), Phaal, Farrukh e Probert (2003).

Conclui-se que a forma como as informações serão apresentadas em um *TRM* podem variar de acordo com o tipo de mercado, produto e tecnologia envolvidos no estudo, em termos gerais o objetivo é visualizar de forma objetiva as camadas seus componentes e interações ao longo do tempo.

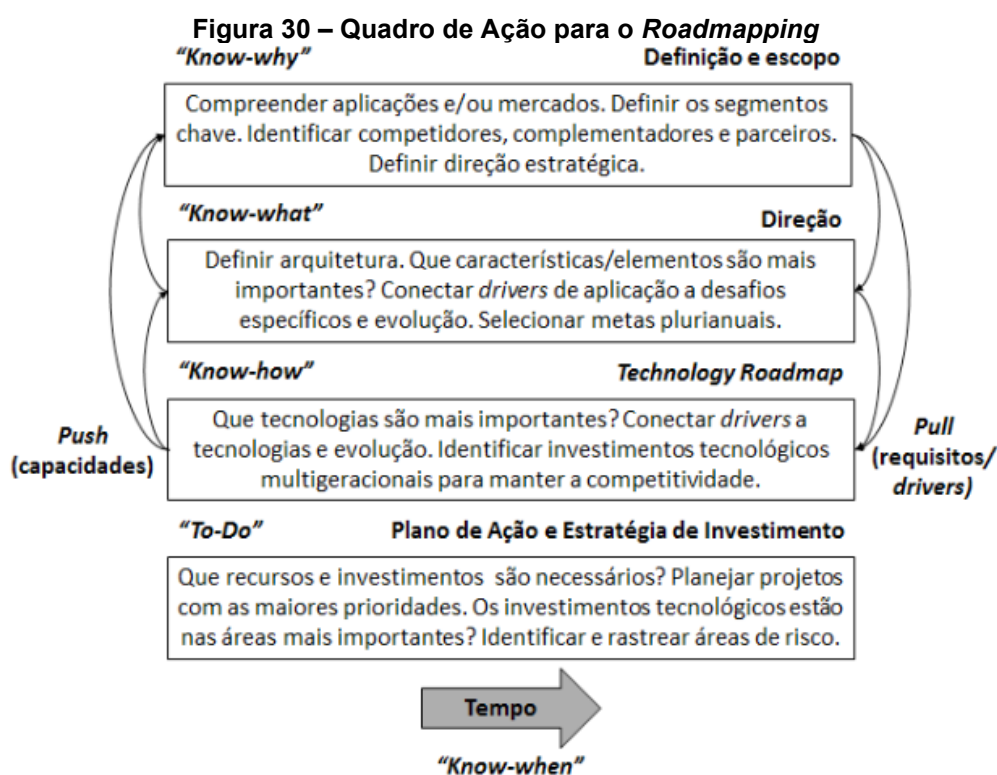
Amer e Daim (2010) creditam o pioneirismo do uso do *TRM* à *General Electric* e Probert e Radnor (2003), creditam o desenvolvimento da metodologia à *Corning* e *Motorola* entre as décadas de 70 e 80, sendo que a *Corning* desenvolveu um mapa de eventos críticos para as estratégias corporativas e de negócio. A *Motorola*, por sua vez, teve como foco a evolução da tecnologia. Uma das mais difundidas citações

sobre *TRM* é do ex-presidente da Motorola Robert Galvin:

[...] um olhar voltado para o futuro de um campo de pesquisa escolhido, composto do conhecimento coletivo e da imaginação dos mais brilhantes impulsionadores da mudança nesse campo. Os *roadmaps* comunicam visões, atraem recursos das empresas e do governo, estimulam as investigações e monitoram o progresso. Eles se tornam o inventário de possibilidades para um campo particular (Galvin, 1998).

Ribeiro et al. (2019), definem *technology roadmapping (TRM)* como o método, o *roadmapping* como o processo de aplicação do método, e o *roadmap* como o resultado obtido em forma de mapa que é gerado ao final do processo de aplicação do método. Na Figura 30 identifica-se o plano de ação para o *roadmap* e as diretrizes a serem tomadas.

Borschiver e Silva (2016), propõem na Figura 30 um plano de ação para o *roadmapping* por meio da proposição de capacidades do saber: fazer, como, o que e por quê. E dos requisitos do plano de ação: escopo, direção, *TRM* e plano de ação e estratégia de investimento.



Fonte: Adaptada de Borschiver e Silva (2016).

A partir do plano de ação proposto por Borschiver e Silva (2016) conclui-se que o *roadmapping* é o processo de levantar hipóteses e perguntas norteadoras a partir dos vetores direcionadores (*drivers*) para que a partir dessas proposições se busquem as respostas que darão fundamento às ações e tarefas dos planos operacionais e estratégicos.

Phaal, Farrukh e Probert (2004) acrescentam que *TRM* é uma técnica de suporte ao planejamento e gerenciamento da tecnologia, para exploração e comunicação das relações entre recursos tecnológicos, objetivos organizacionais e ambiente de mudança.

O *TRM* possui uma estrutura que permite entender as relações entre áreas tecnológicas específicas, a performance do sistema e os *drivers* industriais (Phaal, 2004). Esses *drivers*, por sua vez, auxiliam a identificar as mudanças que ocorrem no mercado, tecnologias, ecologia, economia, política e sociedade (Castorena; Rivera; González, 2013).

Lee, Kim e Phaal (2012), indicam o *TRM* como um plano tecnológico direcionado às necessidades da empresa e tem como objetivo identificar, selecionar e desenvolver alternativas tecnológicas para as diferentes demandas de produto.

Garcia e Bray (1997) citam que o *TRM* é a ferramenta usada para o planejamento e coordenação, com a finalidade de prover uma empresa ou indústria com melhores informações para a tomada de decisão em relação a seus investimentos.

O *roadmap* tecnológico (*TRM*) é um dos métodos mais importantes para a prospecção de tecnologia (Coates et al., 2001). O método ajuda a desenvolver o consenso entre os tomadores de decisão para formular estratégias tecnológicas de curto e longo prazo, ambas baseadas na interação entre produtos e tecnologias ao longo do tempo (Groenveld, 2007).

As informações coletadas durante as previsões devem ser classificadas em um mapa inicial de duas perspectivas diferentes: os componentes tecnológicos necessários para realizar a inovação e as forças externas. O ecossistema de negócios e os contextos institucionais também influenciam a tecnologia e devem ser abordados (Coates et al., 2001).

Groenveld (1997), cita que o processo de *roadmapping* contribui para a integração entre o negócio e a tecnologia. O *technology roadmapping* é uma estratégia de nível mais alto para o desenvolvimento de alternativas tecnológicas, provendo um meio de identificar, medir e selecionar essas alternativas, com a finalidade de satisfazer uma necessidade (Garcia; Bray, 1997).

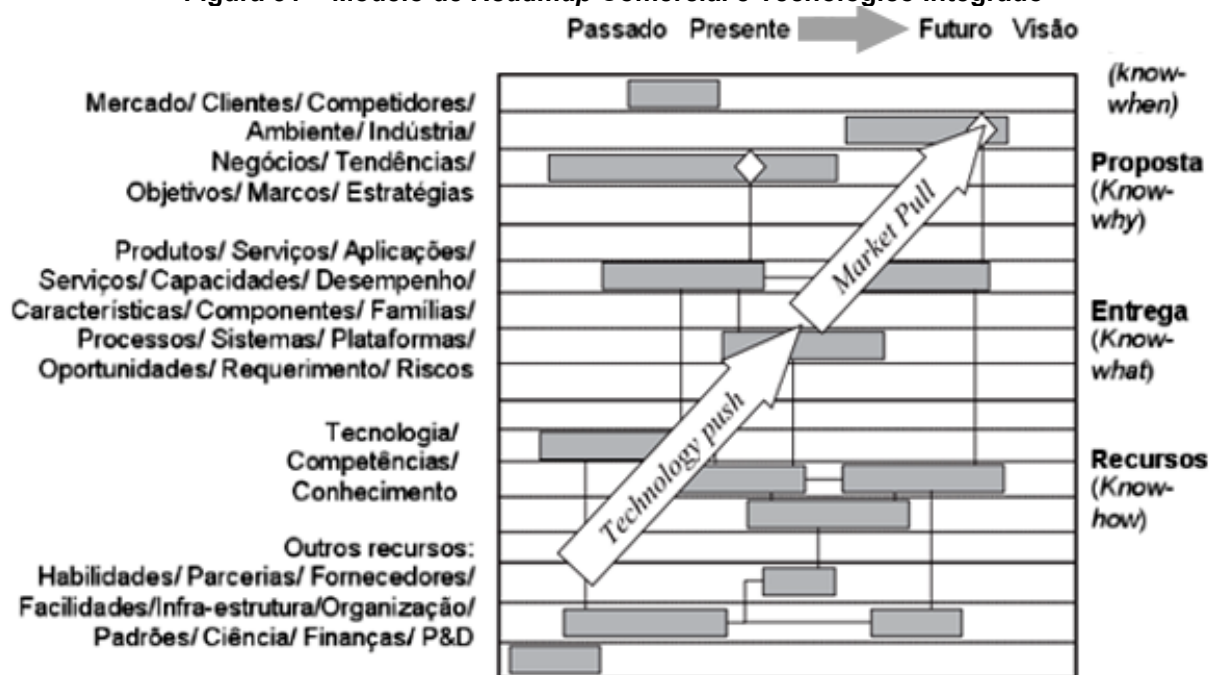
A European Industrial Research Management Association (EIRMA) realizou no final da década de 90 um estudo com 25 companhias europeias, investigando o

uso do *TRM* nessas empresas. Ao final compilou-se um processo composto de oito etapas para o *roadmapping* em que algumas podem ser realizadas linearmente, em paralelo e ainda com possibilidade de iterações, sendo:

- pré-projeto;
- formação da equipe;
- plano preliminar para o projeto de *TRM*;
- processamento das entradas;
- documentação do trabalho;
- verificação, consultoria e planejamento da comunicação;
- construção de um documento final;
- atualização.

Amplamente utilizada, a forma genérica proposta pela EIRMA (1997) *apud* Phaal (2004) pode ser visualizada na Figura 31.

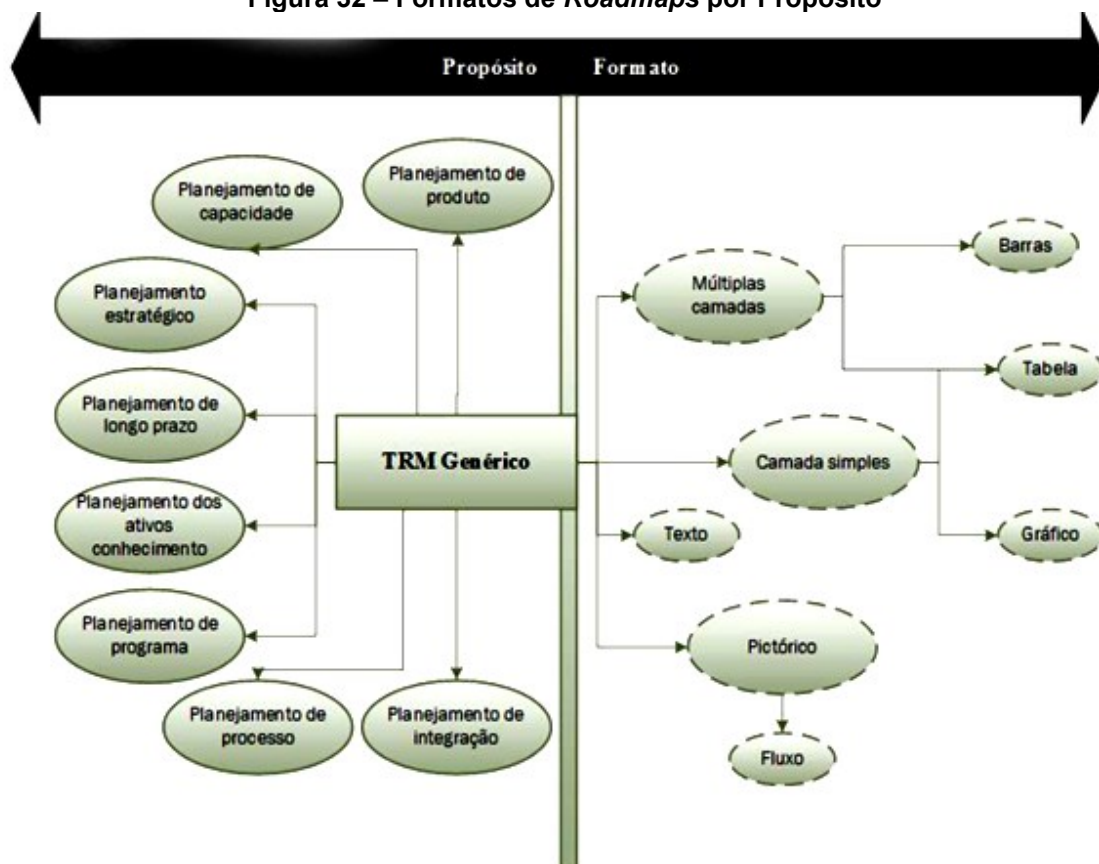
Figura 31 – Modelo de Roadmap Comercial e Tecnológico Integrado



Fonte: Traduzido pelo Autor a partir de Phaal; Farrukh; Probert (2004, p. 18).

Esta forma corresponde a um gráfico ou tabela de múltiplas camadas, que compreendem tanto as perspectivas comerciais quanto as tecnológicas. Esse *roadmap* retrata a evolução e a inter-relação do mercado, produtos e tecnologias e como estes devem ser explorados ao longo do tempo.

Phaal, Farrukh e Probert (2001) levantaram e classificaram os diversos formatos de *TRM* de acordo com seu propósito ilustrado na Figura 32.

Figura 32 – Formatos de *Roadmaps* por Propósito

Fonte: Phaal; Probert; Farrukh, 2001.

O estudo proposto relata que o formato do *Roadmap* está intrinsicamente ligado ao seu propósito, tornando a tomada de decisão a partir dos dados explicitados no *TRM* o mais objetiva e exata possível.

2.4 ANÁLISE SWOT

A evolução dos negócios tem levado as organizações à procura de tecnologias de gestão que possam garantir o atendimento das necessidades da sociedade atual bem como a construção de um caminho que garanta o atendimento das necessidades da sociedade do futuro (Fernandes, 2012).

Os gestores não são capazes de prever o aumento das marés ou das mudanças climáticas, tão pouco alterá-las, mas podem traçar planos para a antecipação do resultado das alterações vislumbradas (Bisson; Stephenson, 2010).

Com este objetivo foi criado na década de 50 a metodologia de análise que ficou conhecida por seu acrônimo *SWOT*, representando as características intrínsecas da organização, suas forças (*Strengths*) e fraquezas (*Weaknesses*), e as

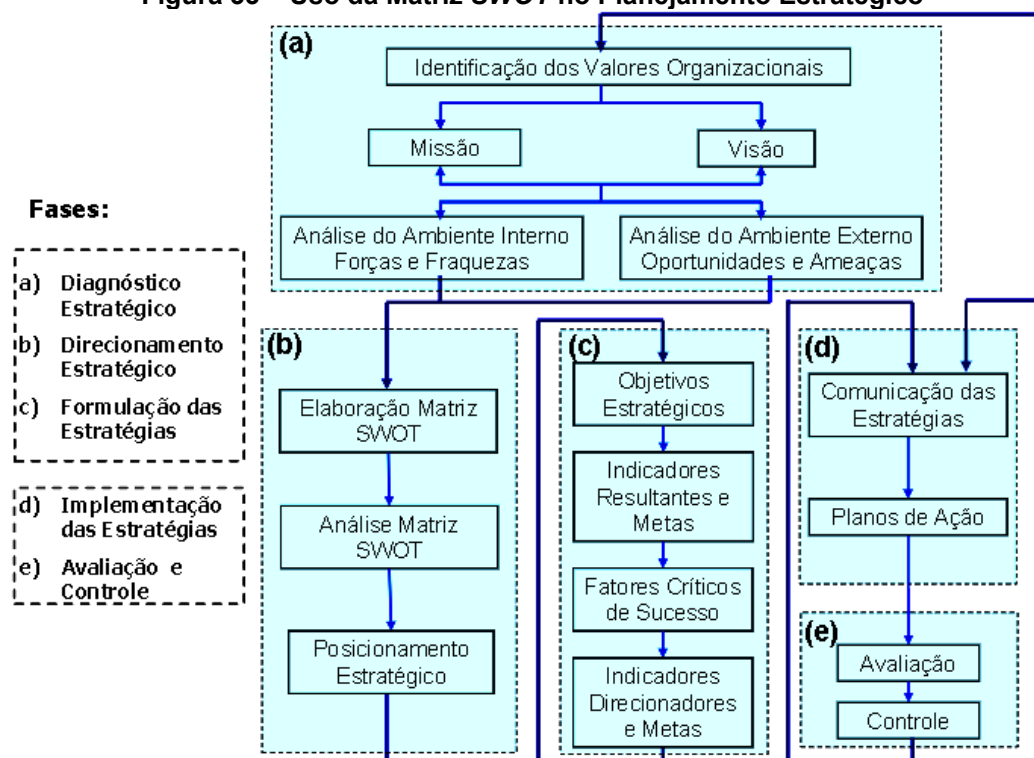
características extrínsecas, oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) do ambiente de fora da organização, formam o fundamento da matriz que representa, no final, o resultado das percepções sobre os ambientes em que a organização está inserida (Friesner, 2010).

A matriz *SWOT* instrumentaliza o processo de planejamento estratégico que é uma das ferramentas que apoia a preparação para os cenários de futuro, podendo até mesmo influenciar na construção do futuro. Um plano estratégico não visa construir o futuro, mas preparar-se para um futuro que pode ocorrer.

Porter (1996) sugere que estratégia significa fazer as coisas de forma diferente quando comparado com as ações dos competidores, significa escolher, conscientemente, um conjunto diferente de atividades para se posicionar como competidor no tabuleiro, a estratégia é a criação de uma posição única e valiosa que engloba um conjunto diferente de atividades, para que a organização possa ser percebida distinta, dentre todas as competidoras, e se manter sua posição no mercado.

O fluxo de atividades proposto por (Fernandes, 2012) para a elaboração de uma matriz *SWOT* como ferramenta para o planejamento estratégico pode ser verificado na Figura 33.

Figura 33 – Uso da Matriz *SWOT* no Planejamento Estratégico



Fonte: Fernandes (2012, p. 58).

Por meio da coleta das informações elaboradas em cada fase do processo de elaboração do planejamento estratégico a matriz *SWOT* é construída, verifica-se que o fluxo de informações segue a lógica da elaboração > análise > validação.

Na etapa (e) nota-se a presença do bloco de controle com a retroalimentação das informações ao plano de ação, analogamente ao controle em malha fechada, verificando-se que a metodologia de elaboração da matriz *SWOT* vai além da representação visual de informações.

A utilização da matriz *SWOT* auxilia a identificar e priorizar variáveis potencialmente impactantes seja nas entradas ou saídas do processo de foresight Van Dorsser e Taneja (2020) propõe um foresight para o Porto de Rotterdam baseado na análise de K-Waves e os respectivos drivers tecnológicos, associando ao foresight a respectiva matriz *SWOT* ilustrada no Quadro 6.

Quadro 6 – Análise SWOT do Porto de Roterdã

MATRIZ SWOT	
AMBIENTE INTERNO	AMBIENTE EXTERNO
<p>Forças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • maior porto da Europa, com canal de acesso profundo que pode facilitar os maiores petroleiros e graneleiros do mundo; • excelente ligação ao interior por via rodoviária, ferroviária e transporte aquaviário; • potencial de alocação para novas atividades em função de recentes expansões da nova área portuária (2º Maasvlakte); • terminais de contêineres de diferentes tamanhos em vários locais, com os maiores mais perto do mar; • existência de um grande <i>cluster</i> da indústria petroquímica e futuro <i>cluster</i> de base biológica; • existência de grandes estaleiros navais e base para os maiores navios guindaste; • existência de uma indústria de reciclagem forte dentro e ao redor do Porto; • cidade portuária interessante para navios de cruzeiro. 	<p>Oportunidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • grande dependência de combustível fóssil (por exemplo, petróleo e carvão) que se espera que enfrente um grande declínio como resultado da transição energética; • grande produção de minérios, para os quais o futuro é incerto como resultado de possível realocação da indústria e mudança gradual para produção de aço; • concorrência acirrada com os portos vizinhos da Alemanha e da Bélgica para contêineres, pois os navios porta-contêineres exigem menos profundidade de água do que petroleiros e graneleiros, de modo que o canal de acesso em águas profundas fornece menos vantagem competitiva; • vulneráveis aos efeitos das mudanças climáticas em função do fechamento da barreira no canal de entrada (durante a maré alta).

MATRIZ SWOT	
AMBIENTE INTERNO	AMBIENTE EXTERNO
<p>Fraquezas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • criar área de produção e mistura para combustíveis renováveis, incluindo a produção de combustíveis sintéticos importados/produzidos e captura e utilização de hidrogênio e carbono; • criar área de reciclagem e desmantelamento para plataformas e navios <i>offshore</i>; • fortalecer a base de abastecimento para produção de energia <i>offshore</i> no mar; • oportunidade de aumentar o transporte marítimo curto de contêineres; • melhorar o manuseio de barcaças terrestres em terminais de contêineres de alto mar para aumentar a participação no mercado de contêineres de alto mar; • desenvolver a aquicultura e piscicultura no porto e no mar; • expansão do mercado de cruzeiros. 	<p>Ameaças:</p> <ul style="list-style-type: none"> • grande declínio na produção de combustível fóssil, o que pode resultar no porto perdendo até 50% de seus atuais volumes de carga; • declínio gradual na produção de matéria-prima, por ex. minérios em produção de aço em função do aumento do uso de sucata; • estagnação ou declínio no transporte marítimo de contêineres, como resultado de envelhecimento da população da Europa Ocidental, globalização reversa e efeito do declínio do crescimento da produtividade do trabalho e do aumento de desigualdade no PIB (afetando tanto a produção quanto o consumo); • perda futura de carga de contêineres como resultado da impressão 3D; • perda de participação de mercado por mudanças climáticas; • ameaça de atividade terrorista no porto.

Fonte: Traduzido pelo Autor a partir de Van Dorsser e Taneja (2020).

Observa-se que o autor levantou uma gama de informações agrupadas segundo a lógica de elaboração de uma matriz *SWOT* para o contexto de pesquisa específico do porto de Roterdã, nota-se ainda que alguns pontos levantados podem

ser extrapolados para a presente pesquisa por serem integrantes do cenário externo e portanto englobar o sistema portuário brasileiro. Caberia uma análise mais aprofundada para se verificar a aderência e convergência das informações oriundas do cenário interno da matriz *SWOT* para o sistema portuário brasileiro, porém é de maior valia a observação do processo de análise utilizada pelos autores do que propriamente suas informações, ainda que estas em termo geral potencializem as tendências tecnológicas levantadas no presente estudo.

2.5 MÉTODO DELPHI

Dalkey e Helmer, associados da *Rand Corporation* idealizaram a técnica Delphi na década de 1950. Inicialmente desenvolvida para aprimorar o uso da opinião de especialistas na previsão tecnológica, o método Delphi vem sendo amplamente utilizado para prever e discutir políticas públicas (Wright; Giovinazzo, 2000).

Skulmoski et al. (2007), destacam que o método Delphi funciona bem principalmente quando o objetivo é melhorar a compreensão de problemas, oportunidades, soluções ou desenvolver previsões.

Grisham (2009), realizou uma revisão de literatura sobre o método Delphi, explicando como esse método de previsão é uma ferramenta de pesquisa. Seus achados mostraram que o Delphi é apropriado para pesquisar questões complexas que exigem visão especializada sobre o assunto, embora não ofereça o rigor de testes clínicos ou análises quantitativas.

Mitchell (1992), enfatiza a importância da aplicação do método como uma ferramenta estratégica em novas indústrias de tecnologia. O autor menciona as vantagens de usar o Delphi como ferramenta de previsão. A maioria dos métodos de previsão baseiam-se em dados históricos, restringindo, assim, o uso de técnicas estatísticas. As técnicas tradicionais de previsão de vendas são prejudicadas não apenas pela falta de dados históricos sobre os produtos, mas também pelo grau de inovação e mudança do produto. Delphi é aplicável ao lidar com a incerteza em uma área de conhecimento imperfeito. Os resultados dos testes mostraram que o Delphi é superior quando comparado com outras técnicas de julgamento em grupo (como grupos de conferência).

O método Delphi pode ser usado quando o número de participantes excede o número com o qual é possível realizar uma discussão presencial significativa. Ele supera problemas resultantes de restrições de tempo e custo, que podem impedir que os painelistas se reúnam em um único local ou horário. Além disso, o anonimato inerente ao método Delphi permite a participação de empresas concorrentes.

2.6 CENÁRIOS

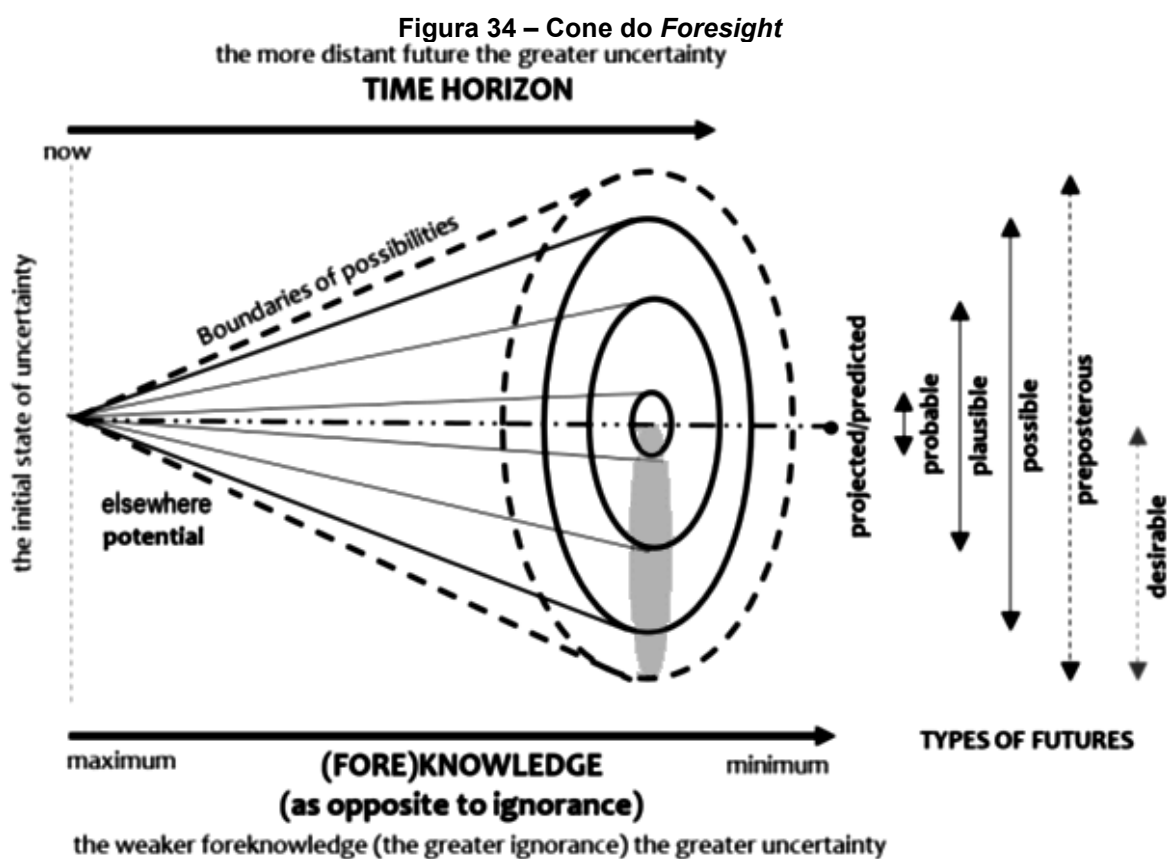
Michael Porter (1985) definiu cenários no contexto das estratégias de negócios como uma visão internamente consistente do que o futuro pode vir a ser, não uma previsão, mas um possível resultado futuro.

A técnica de elaboração de cenários proposta por Grumbach (1997) para construção de cenários prospectivos envolve técnicas de Brainstorming, método Delphi e método de Impactos Cruzados, encontra similaridade com o ciclo PDCA sendo as fases de execução:

- (i) definição do problema;
- (ii) diagnóstico estratégico;
- (iii) processamento;
- (iv) sugestões.

A técnica tem sido aplicada pela Marinha do Brasil, Escola Superior de Guerra (ESG), Banco do Brasil e Polícia Federal desde a década de 90 (SILVA, 2009).

Como apresentado na Figura 34 as incertezas na construção de cenários de futuro estão proporcionalmente ligadas ao horizonte temporal da projeção, quanto mais distante maiores serão as incertezas. A amplitude do chamado Cone do *Foresight* é delimitada pela sua fronteira ou raio de alcance, quanto maiores as possibilidades aceitas nos cenários futuros, maior será a fronteira ou raio do cone.



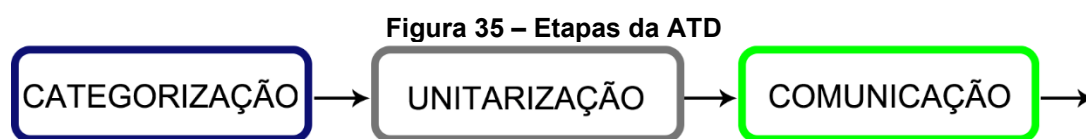
Fonte: Magruk (2021, p. 6)

Pode-se concluir, de acordo com a ilustração, que partindo-se do conjunto de conhecimento de um cenário atual, pode-se projetar vários tipos de cenários, de prováveis aos desejáveis e que quanto menores as informações preexistentes maiores serão as incertezas em relação ao futuro (Magruk, 2021).

2.7 REVISÃO DA LITERATURA E ANÁLISE TEXTUAL DISCURSIVA (ATD)

Com o objetivo de potencializar a confiabilidade da metodologia desenvolvida, foi realizada uma revisão de literatura seguida de ATD. Segundo Moraes e Galiuzzi (2011) a utilização da técnica de análise textual discursiva visa descrever e interpretar alguns dos sentidos que a leitura de um conjunto de textos pode suscitar.

A ATD é constituída por três etapas que ocorrem em um processo cíclico ilustrada na Figura 35:



Fonte: Elaborado pelo Autor.

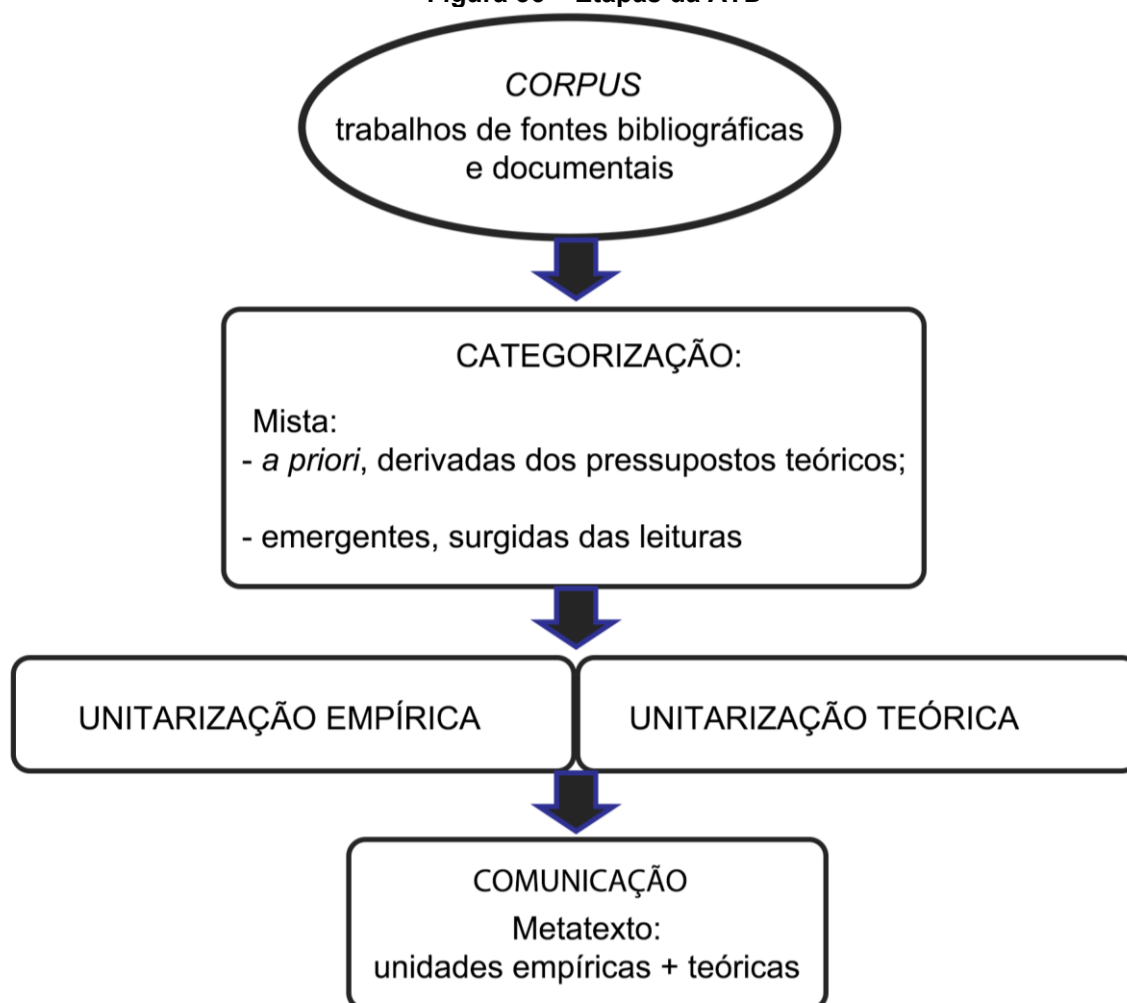
(i) **Categorização**: estabelecimento de construção de relações entre as unidades de análise, tanto as empíricas, quanto as teóricas. Realizado em um processo recursivo de leitura e comparação, resultando em conjuntos que apresentam elementos semelhantes, dando surgimento às categorias. A categorização é um processo sistemático de criação, ordenamento, organização e síntese (Hygino et al., 2015). Sendo um processo de construção de compreensão de fenômenos investigados, aliada à comunicação dessa compreensão por meio de uma estrutura de categorias. As categorias da ATD podem ser definidas como: (a) *a priori*: deriva dos pressupostos teóricos; (b) emergentes: surgem das leituras; (c) mistas: contempla as duas abordagens (Moraes; Galiuzzi, 2011).

(ii) **Unitarização**: Desconstrução e exame dos textos, em nível suficiente de detalhamento, fragmentando-os no sentido de atingir unidades constituintes, enunciados referentes aos fenômenos estudados, mantendo o contexto de onde o fragmento foi extraído. É o próprio pesquisador quem decide em que medida fragmentará seus textos. Dessa desconstrução dos textos surgem as unidades de análise, também chamadas de unidades de significado ou sentido (Moraes; Galiuzzi, 2011). As unidades podem ser empíricas, coletadas para a pesquisa, e teóricas, provenientes dos autores utilizados para embasar o tema pesquisado (Hygino et al., 2015).

(iii) **Comunicação**: da produção de metatextos, surge uma nova compreensão do todo, possibilitada pelo intenso envolvimento nas etapas anteriores. O objetivo dessa etapa é elaborar um texto descritivo e interpretativo, o qual se denomina metatexto, a partir das categorias (Hygino et al., 2015). Empregar as categorias construídas na análise para organizar a produção escrita objetiva atingir descrições e interpretações válidas dos fenômenos investigados. A qualidade dos textos resultantes das análises não depende apenas de sua validade e confiabilidade, atesta-se principalmente ao fato de o pesquisador ter protagonismo como autor de seus argumentos (Moraes; Galiuzzi, 2011).

A Figura 36 ilustra o fluxo da ATD utilizada nesse trabalho:

Figura 36 – Etapas da ATD



Fonte: Adaptada pelo Autor a partir de HYGINO et al. (2015, p. 776).

Para o *corpus* foram pesquisados trabalhos bibliográficos na base *World of Science – WoS*, nas bases documentais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), UNCTAD, IMO, PIANC, Autoridade Marítima, Autoridades Portuárias Nacionais, Autoridades Portuárias Internacionais, Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), ANTT, MCTI, INPI, Diário Oficial da União (DOU), repositórios de órgãos governamentais, intergovernamentais e consultorias especializadas entre o período de julho de 2021 e agosto de 2023.

O critério de seleção considerou trabalhos publicados em periódicos com *qualis capes* igual ou superior ao conceito B, priorizando-se do maior para o menor conceito e grau de impacto da publicação, para os temas de tecnologia adicionou-se aos critérios a seleção de trabalhos posteriores ao ano de 2019. Para as fontes

documentais seguiram-se as diretrizes da obra Metodologia da pesquisa científico-tecnológica e inovação do PROFNIT:

Segundo Cellard (2008 *apud* Chechin et al., 2016), a análise documental inicia-se pela avaliação crítica de cada documento, sob os seguintes aspectos: contexto, autores, interesses, confiabilidade e conceitos-chave. É importante analisar o contexto histórico e social em que foi elaborado o documento, e a quem estava destinado o documento. Além disso, para uma boa interpretação do documento, é fundamental ter conhecimento da identidade, dos interesses e motivações dos autores; por isso, é importante verificar a relação entre autor e seus escritos. Por fim, é necessário o entendimento do sentido dos termos empregados no documento, que podem variar a significação ao longo da história, de acordo com a natureza do documento e interpretação e conhecimento do leitor (Silva; Quintella, 2021).

A metodologia utilizada na revisão da literatura iniciou de forma ostensiva e aprofundou-se inclusive em temas laterais que contribuíssem para formar as categorias da ATD. Os termos de busca abrangeram variações que retornassem trabalhos pertinentes às categorias definidas *a priori* somadas às categorias emergentes da própria análise, em um processo iterativo.

O objetivo foi encontrar convergências e tendências entre os autores, as fontes de pesquisa foram diversas, tanto documental quanto bibliográfica, tendo sido utilizadas bases de dados, patentes e *websites*, buscando-se artigos, livros, relatórios técnicos e executivos, foi então realizada a ATD a partir deste *corpus*. O resultado desta ATD pode ser observado no Quadro 7.

Quadro 7 – Análise Discursiva dos Conceitos do Referencial Teórico

CATEGORIAS	UNIDADES EMPÍRICAS E TEÓRICAS	METATEXTO	REFERÊNCIAS
<ul style="list-style-type: none"> • Objetivos • Funcionais 	<ul style="list-style-type: none"> • Elo para cargas e passageiros entre terra e água. • Elo de importância na cadeia logística como terminal multimodal. • Agente condicionante da escalabilidade de níveis produção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Atividade de meio; Conexão de cadeias produtivas. • Sistema integrador de tecnologias multidisciplinares. • Fronteira do sistema permeável em função da necessidade de integração da informação (<i>inputs, outputs</i>). 	<p>(Bichou; Gray, 2005), (Alfredini; Arasaki, 2019), (Akabane; Gonçalves, 2008), (Unctad, 2022), (US Maritime Administration—Marad, 1978, 1999), (World Bank, 2001, 2003a, 2003b, 2007), (Workport, 2000)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Componentes Físicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Ativos geográficos, físicos e corporativos, referindo-se a conexões hidroviárias. • Plataforma logística, interface dos centros de consumo e produção, provimento da continuidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Empreendimento multisetorial; Sistema de múltiplas variáveis e processos. • Impacto socioeconômico ao entorno expandido (relação porto-cidade). 	<p>(Wood et al., 2002), (Akabane; Gonçalves, 2008), (Monié; Vidal, 2006), (Alfredini; Arasaki, 2019)</p>

	<p>entre os modais terrestres e aquaviários.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Componentes físicos: áreas de fundeio, canal de acesso, cais abrigado, bacias de manobra e evolução, área de retaguarda, infraestrutura e superestrutura e acessos da ligação seca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Provedor de segurança e integridade de cargas e equipamentos de transporte. • Estratégias de segurança e produtividade de acesso às ligações seca e molhada; Estratégias de segurança e produtividade de armazenagem e movimentação de cargas. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Cadeia Logística 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de múltiplas entradas e saídas cujos processos incluem entre outros: planejamento, operações logísticas, de gestão, estratégias e governança; • Sistema modelado para otimização de processos de 	<ul style="list-style-type: none"> • Equilíbrio ótimo entre entradas/saídas dos processos operacionais, estratégicos e de governança; • Valor agregado aos usuários do sistema pela eficiência e confiabilidade dos processos; 	<p>(Bichou, 2013), (Fernandez Cara; Zuazua, 2003), (Fleury; Wanke; Figueiredo, 2000), (Ballou, 2007), (ILOS, 2017), (Lopez, 2000), (Robinson, 2002), (Viederyte, 2016), (OCDE, 2014)</p>

	<p>distribuição de bens e serviços;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Otimização de recursos dos componentes da logística. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de riscos e incertezas; • Inovações tecnológicas que entreguem otimização de recursos, em especial os energéticos. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de Administração Portuária 	<ul style="list-style-type: none"> • Os modelos atuais (<i>Public, Private, Tool, Landlord Ports</i>) consideram as atribuições das atividades de gerenciamento, regulação e operacionais do porto, assim como a titularidade dos ativos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Administrações portuárias são atores importantes no ecossistema de inovação dos portos, seu modelo de administração impacta sobretudo na celeridade do processo de inovação e adoção de tecnologias. 	(Bichou; Gray, 2005), (World Bank, 2003a), (Vieira; Gilberto; Mota, 2018)
<ul style="list-style-type: none"> • Classificação de Portos por Função Logística 	<ul style="list-style-type: none"> • Papel logístico que o porto exerce diante da cadeia de suprimentos (<i>Supply Chain</i>) no qual está inserido. 	<ul style="list-style-type: none"> • A função logística desempenhada por um porto será de relevância para se priorizar os processos de maior entrega de valor à respectiva cadeia de suprimentos. 	(Branch, 1986), (Ballou, 2007)

<ul style="list-style-type: none"> • Evolução Portuária 	<ul style="list-style-type: none"> • A evolução portuária foi classificada por gerações, de acordo com o papel desempenhado pelo porto e a utilização de inovações em sistemas, equipamentos e modelos de negócio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incorporação dos avanços tecnológicos das revoluções industriais e aumento do escopo dos objetivos funcionais. • Forte uso das TIC e automatização. • Aumento de mão de obra especializada. 	<p>(Kaliszewski, 2018), (UNCTAD, 1999), (Kaliszewski, 2018), (Molavi; Lim; Race, 2020), (UNCTAD, 1999), (Naniopolous, 2000)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Competitividade de Portuária 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividade portuária é ligada às mudanças da economia global. • Alta produtividade, custos reduzidos e serviços diferenciados. • Crescente tendência à dinâmica e mobilidade dos mercados. • Competitividade ligada à concorrência portuária, por 	<ul style="list-style-type: none"> • Competitividade portuária interage passiva e ativamente na economia global. • Competitividade associada à produtividade, custos e diferenciação de serviços. • Mercado dinâmico. • Conceito de concorrência difuso em parte pelo 	<p>(Shaheen; Hahmoud; Ei-All, 2014), (Notteboom & Yap, 2012)</p>

	<p>sua vez não é um conceito claramente delimitado em parte em função da sua natureza complexa deste sistema.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lidar com os desafios colocados pelo novo ambiente de negócios de logística. • Ter maior envolvimento do setor privado no nível das operações dos terminais. 	<p>sistema portuário ser de natureza complexa.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Tendências Tecnológicas Portuárias 	<ul style="list-style-type: none"> • Smartports. • Hiper conectividade. • Automação colaborativa 4.0. • Equipamentos de movimentação de carga e veículos autônomos. • Fontes de energia sustentáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Adoção do modelo de <i>smart ports</i>. • Integração do sistema portuário (hiper conectividade) por meio de sistemas e dispositivos <i>IoT</i>s. 	<p>(Wan; Cai; Zhou, 2015), (Zheng et al., 2018), (Euzebio, 2022), (Souza et al., 2022), (Executive, 2015), (Lee; Phaal; Lee, 2013), (Lloyd'; Lloydsregister, 2014), (Paulauskas; Filina-Dawidowicz; Paulauskas, 2021), (Singapore, 2018), (EPL, 2020), (BID, 2023),</p>

	<ul style="list-style-type: none"> Migração das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. 	<ul style="list-style-type: none"> Automação 4.0 com mínima ou nenhuma intervenção humana. Inovações com foco na eficiência energética e sustentabilidade. 	(Deloitte, 2020), (Executive, 2015), (HPA, 2016), (Magellan, 2020), (Mckinsey <i>et al.</i> , 2018), (De La Peña Zarzuelo; Freire Soeane; López Bermúdez, 2020a), (Heikkilä; Saarni; Saurama, 2022), (Magellan, 2020).
<ul style="list-style-type: none"> <i>Technology Foresight - Prospecção Tecnológica</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Construção de cenários. Orientação do plano estratégico e de ação. Antecipação, projeção como vantagem competitiva. Processo sistemático de projeção. 	<ul style="list-style-type: none"> Metodologia que sistematiza a construção de plano estratégico e de ação alinhados aos processos e rotas da PD&I no contexto de mercado, produtos e tecnologias. 	(Marcial, 2019), (Coelho; Coelho, 2003), (Godet; Durance, 2011), (CRA/SP, 2018), (Janissek-Muniz, 2015), (Cuhls; Grupp, 2001), (Coates, 2001), (Zackiewicz; Salles-Filho, 2001), (UNIDO, 2005a), (UNIDO, 2005b), (Andersen; Andersen, 2014), (Popper <i>et al.</i> , 2008), (Haddad, 2016), (Voros, 2003)
<ul style="list-style-type: none"> Technology Roadmap 	<ul style="list-style-type: none"> Representação visual das rotas tecnológicas e de PD&I. 	<ul style="list-style-type: none"> Ferramenta de comunicação e difusão do 	(Ribeiro, 2018b), (Phaal; Farrukh; Probert, 2003), (Borschiver; Silva (2016), (Amer;

	<ul style="list-style-type: none"> • Comunicação de visões de futuro tecnológico alinhados ao plano de ação. • Formato de acordo com o propósito. 	plano de ação e rotas tecnológicas da PD&I.	DAIM, 2010), (Probert; Radnor, 2003), (Galvin, 1998), (Ribeiro et al., 2019), (Phaal, 2004), (Castorena; Rivera; González, 2013), (Lee; Kim; Phaal, 2012), (Garcia; Bray, 1997), (Coates et al., 2001), (Groenveld, 2007), (Garcia; Bray, 1997), (Probert; Radnor, 2003)
<ul style="list-style-type: none"> • Análise SWOT 	<ul style="list-style-type: none"> • Características intrínsecas e extrínsecas da organização. • Instrumentalização do processo do plano estratégico. • Sistematização da coleta, avaliação, alinhamento e validação das informações. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramenta que instrumentaliza e sistematiza a coleta, avaliação, alinhamento e validação das informações. • Ferramenta de comunicação e difusão do plano estratégico. 	(Fernandes, 2012), (Bisson; Stephenson, 2010), (Friesner, 2010), (Porter, 1996), (Van Dorsser; Taneja, 2020)
<ul style="list-style-type: none"> • Método Delphi 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentalização dos processos de <i>brainstorm</i>, ideação, discussão e validação. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metodologia indicada em cenários de alto grau de incerteza para coleta e convergência de 	(Wright; Giovinazzo, 2000), (Skulmoski; Hartman; Krahn, 2007), (Grisham, 2009), (Mitchell, 1992)

	<ul style="list-style-type: none"> • Potencialização da convergência da análise. • Indicação para instrumentalizar discussões com alto grau de incerteza. 	informações de público altamente qualificado.	
<ul style="list-style-type: none"> • Cenários 	<ul style="list-style-type: none"> • Materialização dos contextos de negócios, atores e as dinâmicas destes. • Sistematização da construção da visão de futuros prováveis, plausíveis, possíveis, etc.; 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistematização no contexto de negócios e suas dinâmicas, a construção da visão de futuros prováveis, plausíveis, possíveis, etc. 	(Porter, 1985), (Grumbach, 1997), (Magruk, 2021)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A nuvem de palavras ilustrada na Figura 37 foi elaborada a partir da revisão de literatura e da ATD com auxílio da ferramenta livre wordclouds.com, atribuindo-se peso aos significados e sentidos, consolidando de forma visual os metatextos resultantes.

Figura 37 – Nuvem de palavras dos metatextos da ATD



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nota-se que a adoção de soluções tecnológicas deve priorizar a otimização de recursos, tanto humanos quanto materiais e em especial os energéticos. Essa otimização deve levar em consideração os aspectos socioeconômicos e pautar seus processos dentro do sistema portuário na entrega de valor ao usuário. O modelo mais convergente que atende a este cenário foi o de portos inteligentes, também chamados de portos 4.0 ou *smart ports*.

As evidências e tendências apontadas entre os trabalhos analisados para os temas relacionados ao *TF* apontam que as metodologias servem como um ferramental para a otimização de recursos por meio da sistematização de processos de coleta, análise e tomada de decisões ao longo dos processos do sistema portuário, servindo ainda como subsídio para a elaboração dos planos estratégicos e de ação para se alcançar os cenários pretendidos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Em relação à sua natureza o trabalho categoriza-se como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática direcionados à solução de problemas específicos conforme preconizam Cristiano e Prodanov (2013).

Segundo Lakatos e Marconi (2013) pode-se considerar para o método de pesquisa dois diferentes níveis de amplitude:

(i) método de abordagem: aplicado ao delineamento mais amplo do trabalho quanto ao seu escopo, objetivos, recortes, etc.;

(ii) método de procedimento: aplicado às atividades de pesquisa mais específicas, como os instrumentos, ferramentas, técnicas, amostragem, etc.

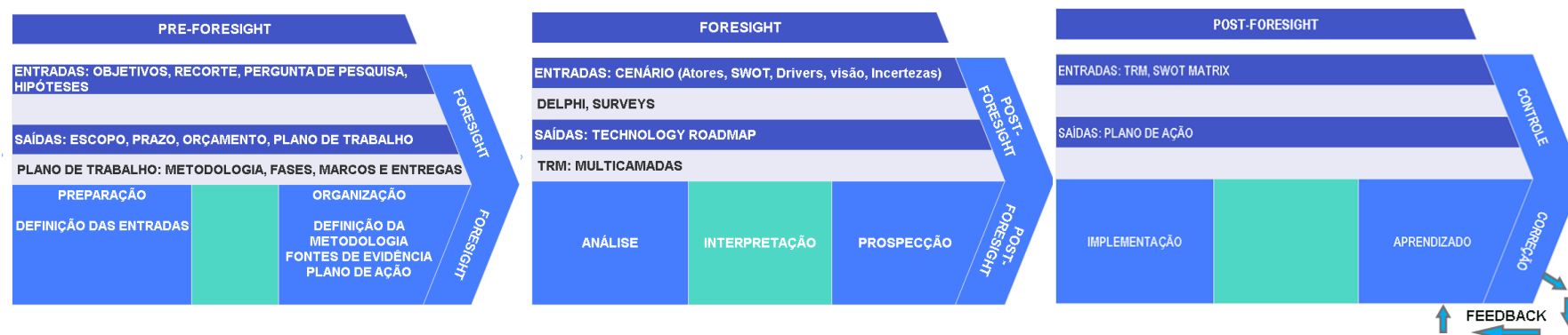
O método de abordagem utilizado no presente trabalho será o indutivo em função dos estudos prospectivos conterem alta probabilidade de seus achados não estarem contidos nas hipóteses iniciais, o método indutivo parte de afirmações acerca dos fatos observados, levando a conclusões sobre o todo, “a conclusão enuncia algo não contido nas premissas” (Lakatos; Marconi, 2009, p. 92). Corroborando a escolha do método indutivo complementa-se que “o método indutivo é aquele que, a partir da análise de fatos particulares, tende a gerar conclusões mais amplas, válidas em relação a um universo maior” (Munhoz, 1989, p. 23).

Quanto aos métodos de procedimento, a forma de abordagem será qualitativa com fins explicativos, por meio de levantamentos do sistema portuário; a instrumentalização da coleta de dados será feita por pesquisa bibliográfica e documental para os conceitos, referenciais teóricos, o estado da arte e da técnica por meio de fontes de evidência; será utilizada a pesquisa de campo para coletar, analisar e validar dados de *inputs* e *outputs* para o *technology foresighting*, construindo-se o cenário atual e de futuro do sistema portuário brasileiro.

O *technology foresighting* será elaborado de acordo com a metodologia de gestão de projetos, seguindo-se as diretrizes e boas práticas da 6ª Ed. do Guia do Conhecimento de Gerenciamento de Projetos (PMBOK) do *Project Management Institute* (2017).

Na Figura 38 a estrutura analítica do projeto de *foresighting* é detalhada com suas fases, entradas, saídas, processos e entregáveis.

Figura 38 – Fases do TF

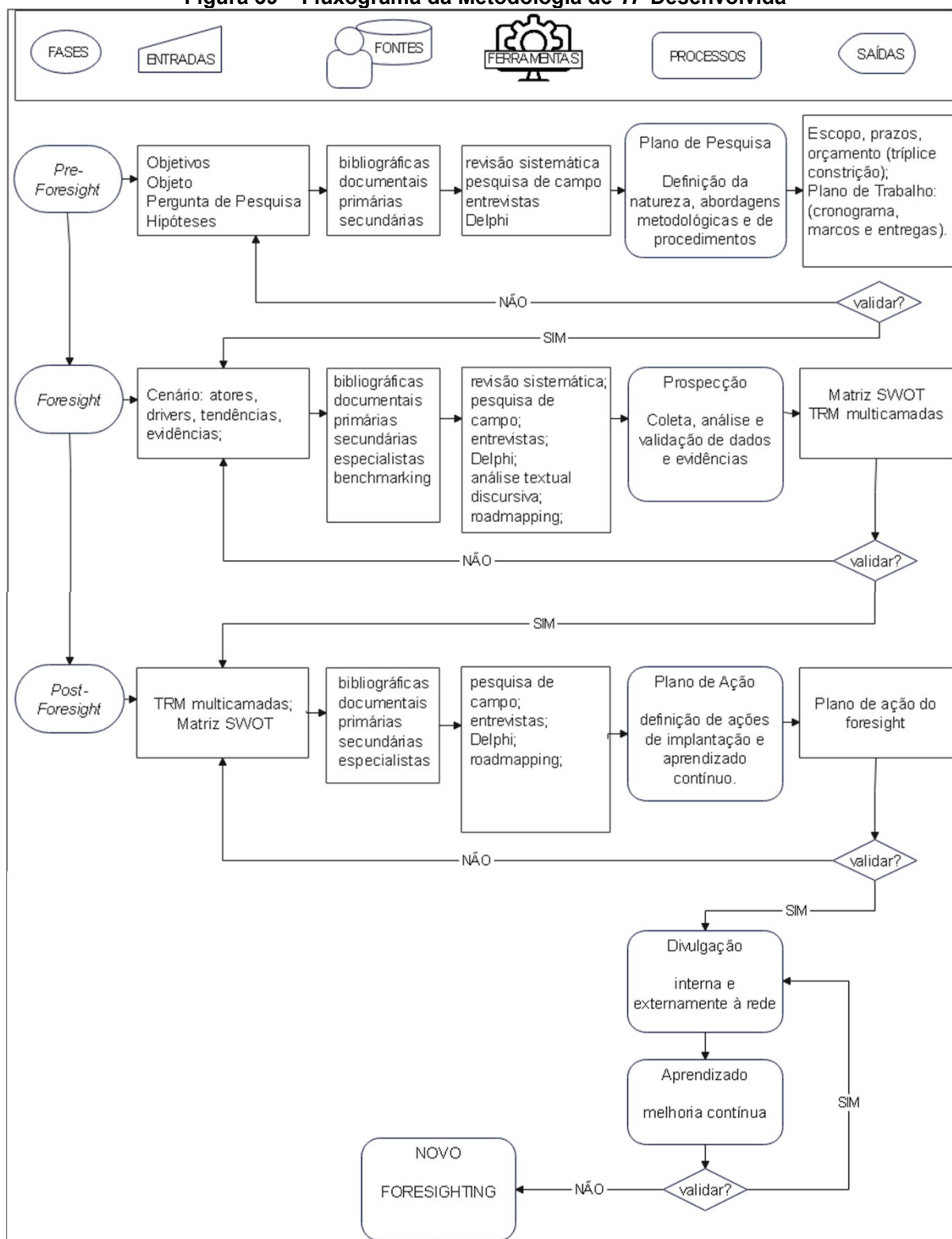


Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de UNIDO; Voros; Andersen (2014; 2005; 2005b; 2003).

Na estrutura analítica do projeto de *foresighting* é possível analisar as fases e suas interações, nota-se que as fases (*pre-foresight*, *foresight* e *post-foresight*) contêm entradas que alimentarão os processos constantes nos blocos inferiores transformando-as em saídas para a fase seguinte, os entregáveis das fases de *pre-foresight* e *foresight* atenderão o explicitado nos 1.1.2 Objetivos Específicos, o entregável da fase de *post-foresight* será o plano de ação para atingir-se a visão de futuro proposta no estudo, e quando implementado estão propostos ciclos de retroalimentação a partir dos processos de aprendizado e correções de rotas detectados para o aprimoramento contínuo fundamentado na teoria de controle, conforme indicado no referencial teórico (Ogata, 2011).

O fluxograma da metodologia de *TF* desenvolvida, ilustrado na Figura 39, detalha os processos, entradas, saídas, fontes e ferramentas propostas.

Figura 39 – Fluxograma da Metodologia de TF Desenvolvida



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O trabalho será realizado em três fases:

(i) **pre-foresight** ou fase preparatória: para esta etapa serão utilizadas como entradas os objetivos, recorte, pergunta de pesquisa e hipóteses, explicitados na seção “Objetivos”. As saídas da etapa de *pre-foresight* serão o escopo, orçamento (recursos humanos e materiais) e o plano de trabalho do *TF* contendo sua metodologia, fases, marcos e entregas;

(ii) **foresight**: tem como entrada o cenário atual do sistema portuário brasileiro, levantando seus atores, realizando a análise *SWOT* deste cenário e suas incertezas, o levantamento, a análise dos *drivers* e seus impactos nas tendências tecnológicas, uma visão de futuro tecnológico para o sistema portuário, a saída deste processo será o *TRM* multicamadas;

(iii) **post-foresight**: a partir do cenário levantado e do *TRM* construído, será proposto em um plano de ação para a implantação das rotas, ações e diretrizes para atingir-se o cenário projetado de futuro tecnológico.

Nota-se que a sequência obedece à lógica da coleta de dados das entradas e saídas necessárias às fases na sua ordem de execução; a fase de *post-foresight* tem a previsão de um processo de retroalimentação de dados em fluxo contínuo visando ao aprendizado e melhoria do processo, contudo este processo de controle não foi realizado por extrapolar o escopo e a limitação temporal do presente trabalho.

4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE *TF* DESENVOLVIDA

O *Technology Foresight Manual* (Unido, 2005a) indica que a aplicação da técnica de *TF* estende-se para os domínios tecnológicos e não tecnológicos, considerando-se tanto questões econômicas, sociais e culturais quanto o desenvolvimento tecnológico; para atender ao escopo da pesquisa, a metodologia proposta pelo presente trabalho selecionou para o *TF* diversas ferramentas, métodos, técnicas e boas práticas para se obter a maior precisão e confiabilidade nos resultados.

A metodologia desenvolvida buscou equilibrar a abordagem de pesquisa no balanceamento de métodos qualitativos, quantitativos e semiquantitativos, sendo alguns dos métodos utilizados:

- (i) *TF*;
- (ii) *scenarios*;
- (iii) *roadmapping*;
- (iv) *delphi*;
- (v) *surveys*;
- (vi) *key technologies*;
- (vii) *benchmarking*;
- (viii) *patent analysis*;
- (viii) *literature review* (Popper et al., 2008, p. 71).

Os dados utilizados foram coletados por meio da pesquisa bibliográfica, documental e de campo e validados por consulta aos especialistas e análise qualitativa dos *TF* realizados pelos portos de referência pesquisados.

4.1 *PRE-FORESIGHT*

A Figura 40 detalha a fase do *pre-foresight* com suas entradas (objetivo, recorte, pergunta de pesquisa e hipóteses). Os processos de preparação e organização foram executados com dados constantes dos objetivos da pesquisa. O entregável desta fase será o plano de trabalho do *technology foresighting* contendo:

- metodologia: o desenvolvimento da metodologia proposta pelo estudo de *TF* baseada no referencial teórico e coleta de dados;
- fases: definição das fases e do fluxograma da metodologia a ser desenvolvida do *TF* para a sua elaboração;
- marcos: prazos e o sequenciamento lógico necessário para execução do *TF*;
- entregas: os produtos definidos como resultados do *TF*.

Figura 40 – *Pre-Foresight*



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados da fase de *pre-foresight* após coletados e processados podem ser verificados no Quadro 7 que sintetiza as informações do processo de coleta, análise e validação demonstrados ao longo do estudo.

Quadro 7 – *Pre-Foresight*

ENTRADAS	OBJETIVOS	
	GERAL	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver a metodologia para o <i>TF</i>.
	ESPECÍFICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar a metodologia desenvolvida; • construir o cenário tecnológico atual e futuro; • elaborar um <i>TRM</i> como difusor do cenário construído; • elaborar uma matriz <i>SWOT</i> do cenário construído.
	RECORTE	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema portuário brasileiro.
	PERGUNTA DE PESQUISA	<ul style="list-style-type: none"> • Qual o cenário tecnológico atual e futuro no sistema portuário brasileiro?
	HIPÓTESES	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 no sistema portuário.
SAÍDAS	ESCOPO	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver um <i>TF</i> para o sistema portuário brasileiro utilizando o referencial teórico consolidado para a metodologia, apresentando o cenário tecnológico futuro construído por: matriz <i>SWOT</i>, <i>TRM</i> (tecnologia, produtos, mercado).
	PRAZO ESTIMADO	<ul style="list-style-type: none"> • 18 meses.
	ORÇAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • Limitado, ressarcimento parcial de custos de elaboração da pesquisa pelo demandante (Fundação Cenep).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Verifica-se que a etapa do *pre-foresight* elabora o plano de trabalho para o *technology foresighting*, delineando os pontos essenciais dos dados de entrada da

pesquisa, seguindo os parâmetros indicados na metodologia de pesquisa científica, de acordo com Gil (2021) a partir dos quais serão detalhados seus entregáveis.

Os objetivos específicos previstos serão alcançados nas etapas posteriores com a aplicação da metodologia proposta (Popper *et al.*, 2008).

4.2 FORESIGHT

Prospecção tecnológica designa atividades centradas nas mudanças tecnológicas, em mudanças na capacidade funcional ou no tempo e significado de uma inovação (Coelho; Coelho, 2003), com isso realizou-se extensiva pesquisa no objetivo funcional do sistema portuário.

A prospecção tecnológica visa antecipar-se aos possíveis estados futuros da tecnologia ou condições que afetam sua contribuição para as metas estabelecidas, visa o apoio ao processo decisório e o posicionamento estratégico (Cuhls; Grupp, 2001), com esse objetivo foram realizadas pesquisas bibliográficas, de campo e *benchmarking* internacional para trazer evidências suficientes ao processo de *foresighting*.

Foresight é o termo aplicado aos estudos que tem por objetivo antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (Coates, 2001). O *TF* é aplicado como a metodologia que suporta a antecipação de eventos futuros, por meio da interpretação de sinais obtidos no presente (Janissek-Muniz, 2015). Com esse objetivo será realizada a coleta e análise dos dados da pesquisa, partindo-se das saídas da fase de *pre-foresight*. O *foresight* e seu detalhamento, entradas e saídas estão ilustrados na Figura 41, sendo:

- **Cenário atual do sistema portuário:** para a construção do cenário foram levantados os atores do ecossistema portuário (Grumbach, 1997) e a partir deste modelo foi elaborada a matriz *SWOT* para a análise do potencial das forças e fraquezas (ambiente interno ao sistema) e oportunidades e ameaças (ambiente externo ao sistema) (Fernandes, 2012).
- **Drivers externos:** são os vetores para onde as tendências tecnológicas são atraídas e ou empurradas, são fenômenos externos ao sistema estudado e

decorrentes de conjunturas geopolíticas, econômicas, sociais etc. Levantou-se como *drivers* externos: (i) demográfico; (ii) tecnológico; (iii) ambiental (Deloitte, 2020).

- **Tendências tecnológicas:** também chamados de *micro drivers* ou *drivers* secundários, estão um nível abaixo dos *drivers* e indicam as tendências tecnológicas em resposta aos *drivers* externos, podendo ser internos ou externos ao sistema estudado.

Os processos foram elencados conforme proposto por Voros (2003), sendo: (i) análise; (ii) interpretação; (iii) prospecção.

Para os processos foram utilizados como fonte de evidências na coleta de dados a pesquisa bibliográfica e documental e a pesquisa de campo, através de visitas técnicas e entrevistas de especialistas, esses últimos tanto para a coleta de dados quanto para a análise e validação. A prospecção tecnológica foi realizada baseando-se no benchmarking de portos que estão em processo mais avançado e consolidado de PD&I portuária, e cujos países podem servir de modelo para o avanço das bases estruturais da CT&I no Brasil, foram consultados além de *TRMs* e agendas tecnológicas dos portos, bases de artigos (WoS¹⁹) e de patentes (Orbit²⁰).

Figura 41 – Foresight



Fonte: Elaborado pelo Autor.

¹⁹ WoS: do inglês *web of Science* é uma plataforma de busca da base de artigos científicos da Clarivate.

²⁰ Orbit: é uma ferramenta de busca global de patentes da Questel e inclui diversos filtros de análise e relatórios.

A fase de *foresight* constrói o cenário atual, levantando seus atores, as tendências tecnológicas e os *drivers* externos, evidenciando os sinais para a construção da prospecção tecnológica.

Parte-se da premissa de que o presente é o estado inicial das incertezas do futuro tecnológico, portanto quanto maior o conhecimento do estado presente menores serão as incertezas do cenário futuro e assertividade da sua projeção (Magruk, 2021).

4.2.1 Cenário

No contexto de prospecção tecnológica aplica-se ao termo “cenário” o caráter de metodologia e/ou ferramenta para a construção da prospecção tecnológica (Coelho; Coelho, 2003).

O Grupo de Excelência em Processo Prospectivo e Construção de Cenários do CRA/SP (2018) indica que a prospecção tecnológica é a análise estratégica da antecipação para orientar a ação. Com isso o *TF* inclui um plano de ação para o sistema portuário como entregável.

Zackiewicz e Salles Filho (2001) ressaltam que os desenvolvimentos tecnológicos e científicos dependem de escolhas feitas pelos atores, portanto o levantamento e análise dos seus papéis dentro do cenário portuário nacional são fundamentais.

Godet e Roubelat (1996) citam que os cenários possíveis e plausíveis não são igualmente prováveis ou desejáveis, sendo necessário analisar os cenários relacionando-os às estratégias dos autores.

Portanto, cabe ao processo de prospecção tão somente a projeção dos cenários, para que a partir de um plano de ação se potencializem as rotas que conduzam aos cenários desejáveis e/ou se distanciem dos indesejáveis.

4.2.1.1 Atores do Sistema Portuário

Para a construção do cenário atual do *foresight* foram utilizados os atores levantados pelo Hub de projetos: Porto (BNDES, 2019), os atores foram agrupados

no relatório pela sua função dentro do sistema portuário e podem ser visualizados na Figura 42.

Figura 42 – Atores do Sistema Portuário Brasileiro



Fonte: BNDES (2019, p. 6)

No levantamento é possível verificar o agrupamento por função dos atores. O grupo de proprietários de carga transborda a fronteira do sistema portuário no que se refere aos processos operacionais, contudo podem ser incluídos por serem os demandantes e demandados da carga, o principal *input/output* do sistema portuário, e seu papel é vital na análise da prospecção tecnológica.

O Quadro 8 lista os grupos de atores, seu grau de impacto e ingerência no desenvolvimento tecnológico e a respectiva análise.

Foram levadas em consideração para a construção do quadro as atribuições dos atores, suas competências legais (Brasil, 2013) e os respectivos objetivos funcionais no sistema portuário e como esses podem contribuir, moldar e ou impactar no desenvolvimento tecnológico.

Quadro 8 – Grau de Impacto e Ingerência dos Grupos de Atores

GRUPOS DOS ATORES	IMPACTO E INGERÊNCIA NO DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO SISTEMA PORTUÁRIO BRASILEIRO
Proprietário da carga	<ul style="list-style-type: none"> • A carga está no núcleo dos processos portuários, seus <i>stackholders</i> tem alto grau de ingerência e impacto como demandantes e indutores dos processos de desenvolvimento tecnológico e são grandes beneficiados pelo valor agregado das inovações.
Transportador	<ul style="list-style-type: none"> • Os transportadores têm alto grau de envolvimento e importância no desenvolvimento tecnológico e são um dos principais atores a serem consultados no desenvolvimento tecnológico, especialmente no modelo de inovação aberta, sendo um dos primeiros a absorver tecnologias nascentes.
Operador logístico	<ul style="list-style-type: none"> • Por serem responsáveis pelos processos operacionais de movimentação de mercadorias, os operadores são atores altamente impactados pelo desenvolvimento tecnológico portuário, sendo uma engrenagem vital no aumento da eficiência portuária.
Fiscalização e regulação	<ul style="list-style-type: none"> • Por serem responsáveis pela regulação, fiscalização e por vezes a normatização das operações, objeto das inovações, este grupo deve estar envolvido e comprometido com o processo de desenvolvimento tecnológico, para que se busque um alinhamento e fluidez do processo; frequentemente depoimentos dos atores do ecossistema de inovação indicam entraves na obtenção de anuências para novas tecnologias.
Apoio marítimo	<ul style="list-style-type: none"> • Este grupo pode ser positivamente beneficiado com inovações tecnológicas que otimizem os processos de <i>supply chain</i>, porém possuem média ingerência no processo de desenvolvimento tecnológico.

Gestor do porto	<ul style="list-style-type: none"> Diversos autores já citados indicam o protagonismo do gestor do porto na facilitação e potencialização dos processos de inovação, sendo modernamente atribuído ao seu modelo de negócio a interface pela qual essas inovações fluirão.
-----------------	--

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conclui-se que para potencializar o ecossistema portuário e seus atores, assim como os processos envolvidos na inovação é desejável que todos os *stackholders* interajam em um modelo de inovação aberta, compartilhando conhecimento e que sejam levados em consideração seus papéis, impacto e ingerência nos processos em benefício do sistema portuário nacional.

4.2.1.2 Matriz SWOT

A matriz *SWOT* ilustrada no Quadro 9 será utilizada como ferramenta de apoio à tomada de decisão e elaboração do *foresight*, a partir das percepções intrínsecas e extrínsecas das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do ecossistema (Friesner. T., 2010).

Os sinais e tendências detectados na análise instrumentalizarão a construção do plano estratégico para se traçar as rotas para os cenários desejáveis.

Porter (1996) sugere que a antecipação e o posicionamento estratégico imputam uma vantagem competitiva frente aos competidores.

Quadro 9 – Análise SWOT do Sistema Portuário Brasileiro

Ambiente Interno	Ambiente Externo
<p style="text-align: center;">FORÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Setor portuário maduro e consolidado; • adesão às pautas ESG; • matriz energética predominantemente de baixa emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE. 	<p style="text-align: center;">OPORTUNIDADES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencial de geração de energia eólica, fotovoltaica e biomassa; • farto ambiente operacional para desenvolvimento tecnológico; • interesse econômico de grandes grupos empresariais internos e externos; • exploração da economia azul; • Zonas de Processamento de Exportação – ZPEs²¹ como potencial <i>hub</i> de inovação.
Ambiente Interno	Ambiente Externo
<p style="text-align: center;">FRAQUEZAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cultura da inovação fraca; • políticas de inovação em consolidação; • alta carga tributária; • dependência de alta tecnologia importada; • escassez de agendas e programas de desenvolvimento tecnológico para o setor portuário. • falta de planejamento e integração dos atores do ecossistema; 	<p style="text-align: center;">AMEAÇAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Condições de normas ambientais; • concorrência com ecossistemas internacionais mais maduros; • uso indevido da tecnologia para fins ilícitos; • falta de ética no desenvolvimento de aplicações de IA; • ecossistema de inovação portuária fraco e desorquestrado; • risco biológico; • risco de terrorismo.

²¹ ZPE: Zona de processamento de exportação. Área contígua ao porto para processamento e industrialização de produtos para a exportação.

<ul style="list-style-type: none"> • complexidade das agências reguladoras para homologação de novas tecnologias; • matriz de transportes desequilibrada com forte predomínio rodoviário. 	
---	--

Fonte: Elaborado pelo Autor

Analisando-se a matriz *SWOT* verifica-se que apesar do sistema portuário brasileiro estar consolidado e ter um antigo histórico é necessário potencializar a cultura da inovação e trabalhar na quebra dos entraves políticos e regulatórios para que se possa alcançar um nível adequado de autonomia tecnológica externa e proporcionar um ambiente ótimo de inovação nacional.

As ZPEs podem atuar como *hubs* de inovação tecnológica e tornar-se indutoras do desenvolvimento tecnológico portuário fortalecendo o ecossistema e consequentemente a economia local (Gonçalves, 2023).

O sistema portuário brasileiro pode contar ainda com o potencial de fontes de energia limpas e sustentáveis para suportar o aumento da demanda energética projetado pelo uso intensivo de soluções tecnológicas este fato pode ser utilizado como um diferencial competitivo.

4.2.1.3 Drivers

Drivers, ou vetores, auxiliam a identificar as mudanças que ocorrem no mercado, tecnologias, meio ambiente, economia, política e sociedade (Castorena; Rivera; González, 2013).

Os dados coletados durante as previsões podem ser classificados e sintetizados em um mapa inicial de perspectivas diferentes:

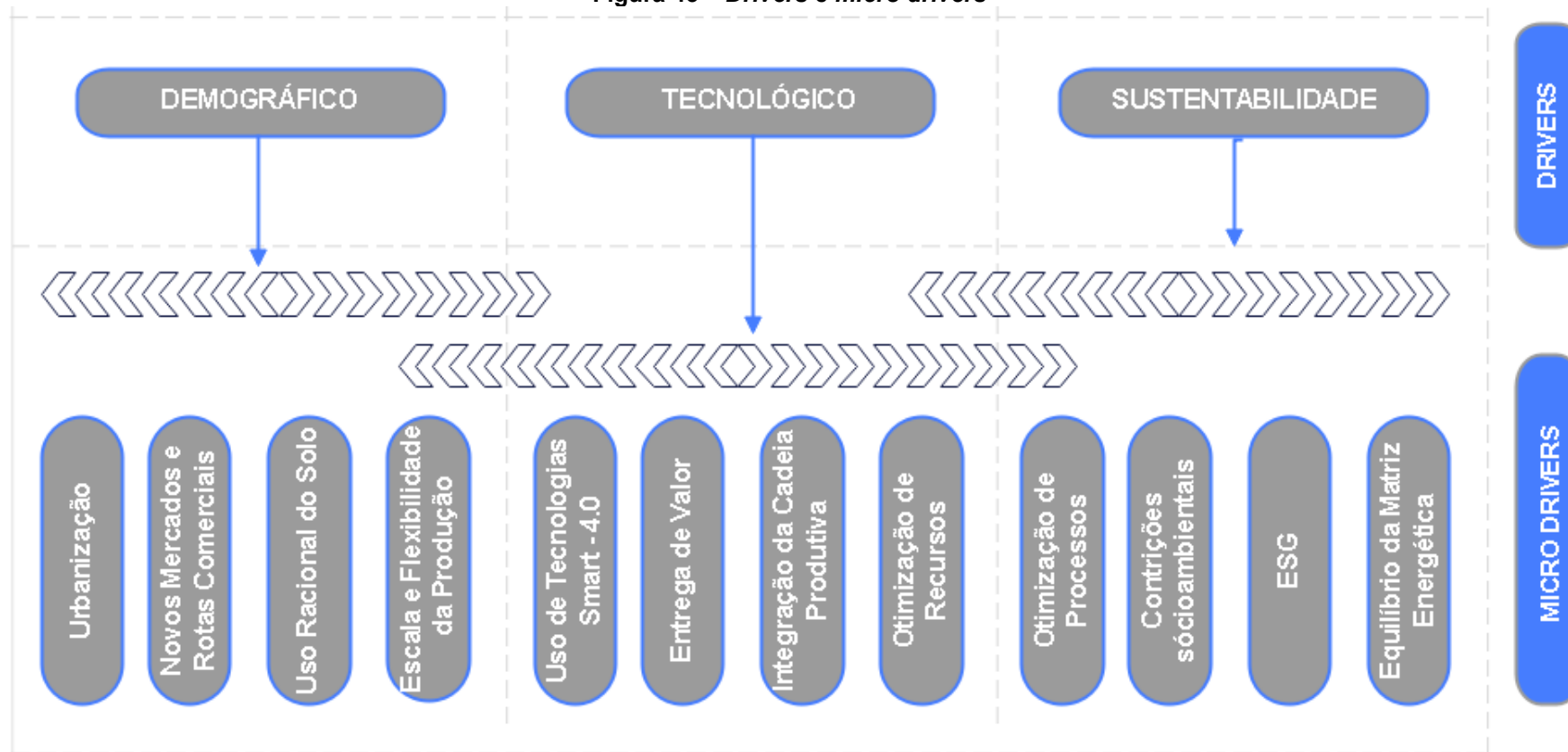
- (i) forças externas (*drivers*);
- (ii) componentes tecnológicos necessários para realizar a inovação (*micro drivers*).

O ecossistema de negócios, o sistema nacional de inovação e os contextos institucionais também influenciam a tecnologia e devem ser abordados (Coates et al., 2001).

A partir do referencial teórico citado elaborou-se um mapeamento ilustrado na Figura 43 com os *drivers* relacionados às forças ou vetores direcionadores externos, no contexto de demandantes ou indutores do desenvolvimento tecnológico (*technology push, market pull*) do sistema portuário, os *drivers* foram agrupados em:

- (i) demográfico;
- (ii) tecnológico;
- (iii) sustentável.

Os seus *drivers* secundários, ou *micro drivers*, aparecem como um desmembramento, indicando os componentes tecnológicos necessários ao atendimento das tendências apontadas pelos vetores ou *drivers* primários.

Figura 43 – Drivers e micro drivers²²

Fonte: Elaborado pelo Autor.

²² Um mesmo *micro driver* pode atender um *driver* (primário) em função do potencial de abrangência da funcionalidade da tecnologia envolvida.

Os *micro drivers* foram selecionados a partir da pesquisa bibliográfica, de campo e do *benchmarking* dos portos de referência (Belfkih; Duvallet; Sadeg, 2017; BID, 2023; Deloitte, 2020; Fundación Valenciaport, 2019; Medports, 2015; Van Dorsser; Taneja, 2020) no desenvolvimento tecnológico, adequando os resultados encontrados ao contexto do sistema portuário brasileiro, o Quadro 10 demonstra a análise dos *micro drivers* e seu impacto no desenvolvimento tecnológico.

Quadro 10 – Análise dos *Micro Drivers*

MICRO DRIVER	ANÁLISE	REFERÊNCIAS
Urbanização	<ul style="list-style-type: none"> • O processo de urbanização em curso nas últimas décadas pressiona o sistema portuário a trazer soluções tecnológicas que harmonizem a relação porto-cidade e ainda otimizem os processos da cadeia de suprimentos, as tecnologias utilizadas nas smartcities (TIC, IoT, IA, digital twin etc.) podem transbordar a fronteira do sistema portuário integrando soluções. • A urbanização também demanda a otimização do espaço físico dos terminais portuários, uma vez que esses passam a ser pressionados pela expansão das zonas urbanas nos espaços portuários; 	(Falconer; Mitchell, 2012; Lee; Phaal; Lee, 2013; Lu; Chen; Yu, 2019; Mckinsey, 2018; Monié, 2011; Patel, 2019; Wu et al., 2013);
Novos mercados e rotas comerciais	<ul style="list-style-type: none"> • A partir do deslocamento demográfico causado por novos arranjos geopolíticos surgem mercados consumidores e produtores e conseqüentemente precisam ser atendidos por novas rotas comerciais, esse fenômeno traz a oportunidade de soluções tecnológicas que analisem e otimizem o planejamento e implantação de novas rotas comerciais baseadas em big data e data analytics; 	(Bisson; Stephenson, 2010; Deloitte, 2020)

<p>Uso racional do solo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • O crescimento urbano e a consequente concorrência do uso do solo somados às crescentes restrições ambientais para a utilização sustentável do solo e do meio ambiente, evidenciado pelos ODSs: 11, 12, 13, 14 e 15 (UNITED NATIONS, 2015) sugerem que as soluções tecnológicas para o uso sustentável e a otimização do espaço tornem-se uma forte demanda; 	<p>(Brasil, 2017; Fermino, 2016; Maia et al., 2021);</p>
<p>Escala e flexibilidade de produção</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A escalabilidade e a flexibilidade da produção trazidas da indústria 4.0 demandam um novo modelo de negócio para o sistema portuário, pressionando-o para que esses conceitos sejam incorporados para que se possa entregar maior valor ao usuário do sistema, a flexibilidade na produção demanda soluções tecnológicas que atendam em tempo real personalizações nos processos e produtos movimentados pelos portos, como impressão 3D (manufatura aditiva), integração de sistemas ERP de gestão e de supply chain, robótica colaborativa, blockchain, computação em nuvem, entre outras tecnologias habilitadoras 4.0 em sintonia com a indústria na sua hinterlândia, essa tendência da integração de indústria 4.0 	<p>(Botti et al., 2017; De La Peña Zarzuelo; Freire Soeane; López Bermúdez, 2020a; Erboz, 2017a; Franco; Indústria, 2020; Pinto, 2021; Schwab, 2016; Wan; Cai; Zhou, 2015; WEF, 2016).</p>

	com portos 4.0 (smart ports) mostra-se fartamente evidente nas fontes pesquisadas;	
Uso de tecnologias <i>smarts</i> 4.0	<ul style="list-style-type: none"> O tripé dos sistemas inteligentes consiste na coleta de dados por sensores, sua análise e processamento digital por microprocessadores e a atuação por dispositivos e equipamentos, esse processo coleta-análise-atuação é baseado na teoria de controle moderno (Ogata, 2010) e evoluiu da indústria 3.0 até os modernos sistemas da indústria 4.0 (smart factory) baseados nos smart devices ou dispositivos inteligentes, que através de sensores integrados, software embarcado com IA e conectados por IoTs entregam valor ao sistema através da melhor tomada de decisão em tempo real, levando em conta não só o processo no qual estão inseridos para a sua ação e correção mas todo o sistema e o impacto global, priorizando-se os KPIs que geram o melhor resultado para o sistema; 	(Bastug et al., 2020; De La Peña Zarzuelo; Freire Soeane; López Bermúdez, 2020a, 2020b; Erboz, 2017b; Euzebio et al., 2022; Gilchrist, 2016; Molavi; Lim; Race, 2020; Pinto, 2021; Vaidya; Ambad; Bhosle, 2018; Wan; Cai; Zhou, 2015; Zheng et al., 2018).
Entrega de valor	<ul style="list-style-type: none"> O modelo de negócio direcionado à valor (value-driven) já é consolidado em outros setores produtivos, uma vez que portos são atividades de meio, diversos estudos propõem 	(Abdel-Basst; Mohamed; Elhoseny, 2020; Bastug et al., 2020; Silva, 2011; Molavi; Lim; Race, 2020; Philipp, 2020; Robinson, 2002).

	um novo paradigma para o planejamento estratégico portuário priorizar o valor entregue aos seus usuários;	
Integração da cadeia produtiva	<ul style="list-style-type: none"> Essa integração com o sistema portuário ficou evidenciada na evolução das soluções da indústria 3.0, onde os sistemas e até o modelo de inovação eram fechados, para um modelo de inovação aberta e soluções tecnológicas a partir do modelo da indústria 4.0, fortemente baseada no uso das TIC com dados digitais fluindo por toda a cadeia produtiva e perpassando o sistema portuário, para se beneficiar do uso das informações circulantes dos processos de supply chain e utilizá-los nas otimizações dos processos do sistema portuário; 	(Botti et al., 2017; Carbone, V; De Marino, 2003; Souza et al., 2022).
Otimização de recursos	<ul style="list-style-type: none"> A otimização de recursos humanos e materiais impactam não só no custo operacional como traz oportunidades de inovações que proporcionem um ambiente laboral mais saudável e seguro, essa otimização de recursos especialmente os humanos gera uma demanda de capacitação para as novas competências de portos e indústria 4.0 e uma abordagem inovadora da relação de trabalho portuário; 	(Aires; Moreira; Freire, 2017; Silva, (2021); Chaka, 2020; Cotet; Balgiu; Zaleschi, (2020); Karlos; Oliveira, (2018); Kipper et al., (2021); Mendes et al., (2020); Naniopoulos, (2000); Ribeiro; Amaral; Barros, (2021); Wundrack et al., (2020);

<p>Otimização de processos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Processos são responsáveis por tratar dos inputs/outputs dos sistemas, convertendo-os nas entregas, em especial dentro da cadeia de suprimentos na qual estão inseridos os sistemas portuários, otimizando-se os processos reduz-se significativamente o uso de recursos e consequentemente seu custo, aumentando ainda a produtividade e eficiência. Diversos estudos propõem otimizações de processos baseados em uso extensivo de tecnologias, essa otimização leva ainda em conta o alinhamento das estratégias de negócio no seu mais alto nível através da otimização dos KPIs nos níveis operacionais; 	<p>(Euzebio et al., 2022; Fundación Valenciaport, 2019; Iris; Lam, 2019) ;</p>
<p>Constrições socioambientais</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A ESG imprime um novo olhar sobre o papel das empresas na responsabilidade socioambiental, criando mecanismos de incentivo e controle para que soluções sustentáveis sejam adotadas, em consonância aos ODSs, setores produtivos e governos tornaram-se atores de vital importância para o atingimento das metas criadas. A adoção de inovações de produtos, serviços e modelos de negócio cumprem papel determinante nesse processo; 	<p>(Deloitte, 2020; Fundación Valenciaport, 2019; United Nations, 2015)</p>

<p>ESG (governança socioambiental):</p>	<ul style="list-style-type: none"> • É um dos métodos modernos de avaliação de risco corporativo para investidores. Metade dos ativos no mercado europeu são alocados por meio de estratégias que consideram o conceito ESG, aproximadamente 30% no mercado americano. Poucos estudos propõem avaliações qualitativas do desempenho ESG das empresas. No setor portuário não foram encontrados trabalhos que introduzam o conceito ESG em qualquer autoridade portuária ou terminais, com esta lacuna Caldeira dos Santos et al. (2022) desenvolveram um estudo de caso em três portos selecionados pelas semelhanças entre suas cargas e volumes de transporte e a importância do hinterlândia primária: Santos, Bremen/Bremerhaven e Barcelona, constatou-se que sua clusterização graduada com base nas pontuações ESG podem apoiar investimentos nas operações portuárias, abre-se a oportunidade de sistemas e dispositivos que suportem a construção dos indicadores considerados pela ESG; 	<p>(Santos; Pereira, 2022; Deloitte, 2021);</p>
<p>Equilíbrio da matriz energética</p>	<ul style="list-style-type: none"> • As operações portuárias, seus processos e equipamentos, assim como os componentes de transporte da cadeia 	<p>(Acciaro; Ghiara; Cusano, 2014; Bergqvist; Monios, 2018; ILOS, 2017;</p>

	<p>logística enfrentam forte tendência ao uso de uma matriz energética mais sustentável e equilibrada e o investimento de grandes players do mercado de energia em PD&I para atingir esse equilíbrio. Iniciativas neste sentido foram mapeadas pelo relatório do INPI (2023): Mapeamento de Patentes Depositadas no Brasil sobre Tecnologias Relacionadas à Produção de Hidrogênio, com Enfoque em hidrogênio verde.</p>	<p>Iris; Lam, 2019; Philipp, 2020; Roitman; Silva, 2018; Sadiq et al., 2021b).</p>
--	--	--

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2.2 Visão

Construir uma visão de futuro passa necessariamente pelo conceito lógico de que ao partir de um estado atual para outro, exista transformação e conseqüente evolução e desenvolvimento. O BNDES elabora estudos e análises setoriais desde 1952, e desde 1980 incorporou técnicas de cenários para suas projeções e definiu como sua missão “Tornar o Brasil um país desenvolvido até 2025”, acrescentando a observação que este objetivo somente será alcançado com a integração estratégica de todos os setores, para alcançar esse objetivo desdobrou sua missão em três dimensões, sendo:

[...] (i) desenvolvimento transformador da realidade econômica”, tendo por diretriz aumentar a produtividade e a competitividade sistêmica da economia brasileira; (ii) “desenvolvimento transformador da realidade social”, visando a promoção da equidade e o bem-estar; e (iii) “desenvolvimento transformador sustentável”, em que se pretende lançar o Brasil com protagonismo na agenda internacional (BNDES, 2018).

Baseado nesta metodologia a declaração da visão de futuro proposta pelo presente trabalho fica assim definida: “O sistema portuário brasileiro transformar-se-á em protagonista do desenvolvimento tecnológico de soluções socioambientais, integradas às cadeias produtivas e que gerem valor à sociedade.”

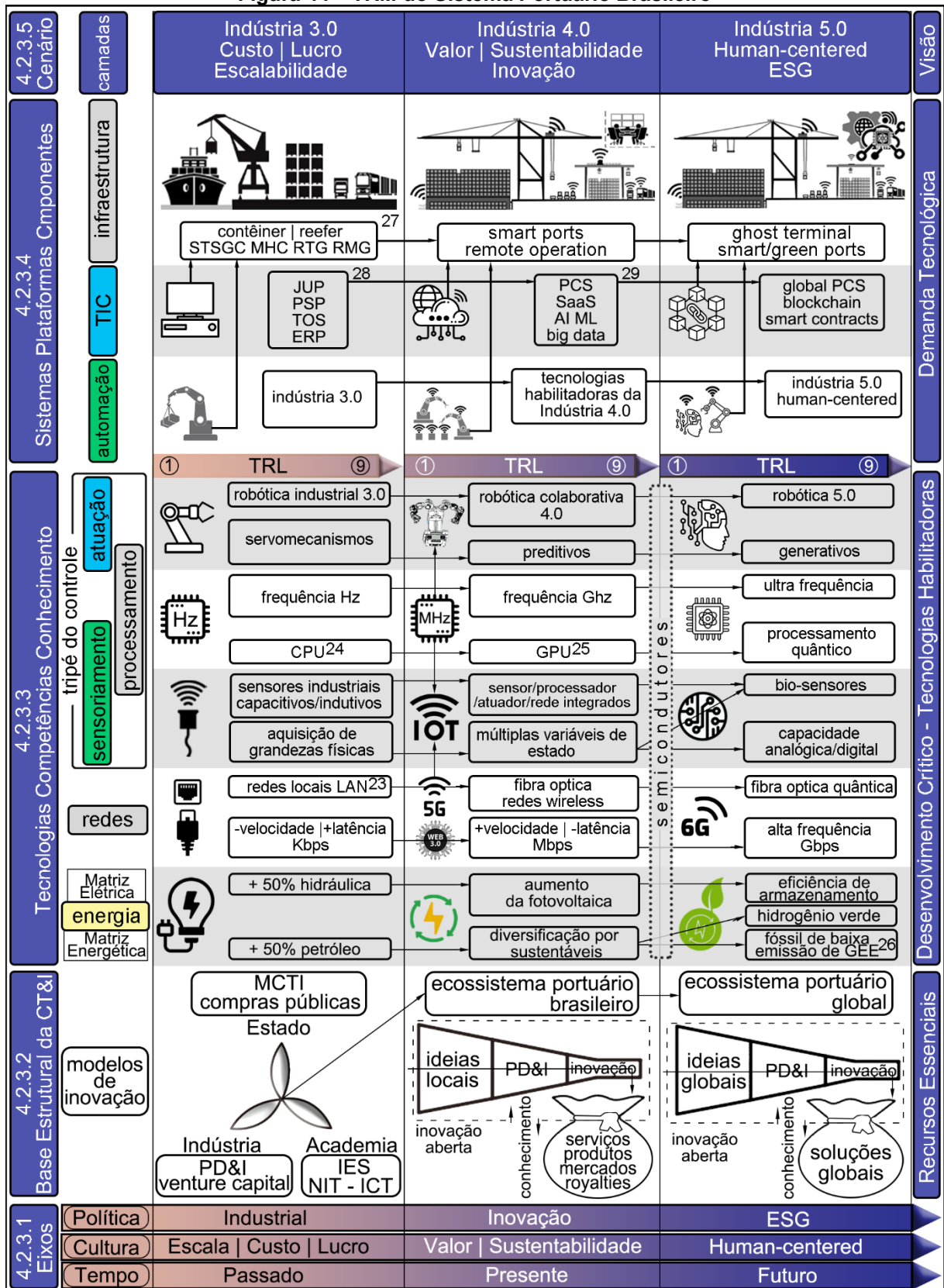
Objetivando o aspecto transformador do desenvolvimento tecnológico na economia e sociedade, aspirando para o País um protagonismo internacional à altura do seu potencial, tornando-o independente tecnologicamente, criando assim um ciclo virtuoso de desenvolvimento tecnológico, econômico e social.

4.2.3 TRM Multicamadas

Ribeiro et al. (2019) definem *technology roadmapping (TRM)* como o método, o *roadmapping* como o processo de aplicação do método, e o *technology roadmap* como o resultado obtido em forma de mapa a partir desses conceitos.

Baseado no plano de ação proposto por Borschiver e Silva (2016) que conceituam o *roadmapping* como o processo de levantar hipóteses e perguntas norteadoras a partir dos vetores direcionadores (*drivers*), foi então elaborado o *TRM* apresentado na Figura 44.

Figura 44 – TRM do Sistema Portuário Brasileiro



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.2.3.1 Eixos: Temporal, Político, Cultural

O eixo temporal considerou três momentos (passado, presente e futuro) aos quais foram relacionadas as ações dos eixos cultural e político que impactaram as bases estruturais da CT&I no Brasil, sendo o momento passado relacionado às ações que já foram propostas e implantadas, o momento presente relacionado às ações em estudo, desenvolvimento e ou incipientes e o momento futuro relacionará as ações a serem implantadas para se adequar a CT&I ao cenário projetado; associaram-se ainda os marcos das revoluções industriais de cada momento. Ressalta-se que esta lista não é exaustiva e considerou algumas dentre as principais ações que impactaram na estruturação da CT&I brasileira.

Passado e Presente da Cultura e Políticas de CT&I no Brasil:

- **Fundação de agências de fomento à pesquisa:** uma das principais iniciativas foi a criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) em 1951, que desempenha um papel fundamental no apoio à pesquisa científica no País. Outra iniciativa importante foi a criação da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em 1951, responsável pelo fomento e avaliação da pós-graduação no Brasil.
- **Estabelecimento de universidades e institutos de pesquisa:** foram criadas várias universidades e institutos de pesquisa no Brasil, a primeira foi a Universidade de São Paulo (USP) em 1934, outro pioneiro foi o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 1961. Essas instituições entre outras desempenham um papel muito importante na produção de conhecimento e no avanço da CT&I no País.
- **Programa Ciência sem Fronteiras:** lançado em 2011, o programa buscava promover a internacionalização da ciência e tecnologia brasileira por meio de bolsas de estudo no exterior para estudantes e pesquisadores. Embora tenha passado por mudanças e redução de escopo, o programa trouxe oportunidades de intercâmbio e colaboração com instituições estrangeiras.
- **Lei de Inovação:** criada em 2004, visa estimular a inovação tecnológica no Brasil. Ela promove a interação entre universidades, institutos de pesquisa e

empresas, além de estabelecer mecanismos para a transferência de tecnologia e a criação de parques tecnológicos.

- **Lei do Bem ou Lei nº 11.196/05:** cria a concessão de incentivos fiscais às pessoas jurídicas que realizarem pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica. O crescimento dos países passa pelo investimento em PD&I. O governo federal, por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, utiliza esse mecanismo para incentivar investimentos em inovação por parte do setor privado. Além disso, busca aproximar as empresas das universidades e institutos de pesquisa, potencializando os resultados em P&DI.
- **Lei do Sistema Nacional de Inovação** (Lei nº 13.243/2016): estabelece diretrizes para a formulação e a implementação de políticas públicas de estímulo à inovação no Brasil. Ela cria o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e prevê a criação de instrumentos de apoio à inovação, como os Fundos de Investimento em Inovação.
- **Lei das Startups (Projeto de Lei Complementar nº 146/2019):** tem como objetivo criar um ambiente mais favorável ao empreendedorismo e às *startups* no Brasil. Ela propõe medidas como simplificação de procedimentos para abertura e fechamento de empresas, estímulo ao investimento em *startups*, facilitação de acesso a financiamento e criação de ambiente regulatório adequado.
- **Marco Legal da Inovação:** é o conjunto de leis e regulamentações que visam estimular a PD&I no Brasil, atualmente possui algumas das normas bem consolidadas e outras ainda em estudo e desenvolvimento.

Lemos e Cário (2013) em seu estudo “A Evolução das Políticas de Ciência e Tecnologia no Brasil e a Incorporação da Inovação”, concluem que a criação de institutos voltados ao desenvolvimento científico e tecnológico como o CNPq e CAPES tiveram papel fundamental no avanço da CT&I no Brasil, especialmente no que se refere a formação e especialização de recursos humanos.

Futuro da Cultura e Políticas de CT&I no Brasil:

- **Investimento em pesquisa e desenvolvimento:** uma iniciativa futura importante seria o aumento do investimento público e privado em pesquisa e desenvolvimento com maiores mecanismos de incentivos, como benefícios fiscais entre outros e prevendo a garantia de compra pelo estado do produto final da PD&I, instrumentos jurídicos como as Encomendas Tecnológicas – ETECs, onde o contratante assume o risco do investimento em pesquisa de uma solução tecnológica inovadora (inédita) e possui legislação própria. Seu regime jurídico encontra fundamento legal no art. 20 da Lei nº 10.973/2004 (Lei de Inovação). Ainda são pouco utilizados e carecem de uma melhor difusão e segurança jurídica para a sua consolidação. Essas iniciativas poderiam fortalecer as bases científicas e tecnológicas do País e impulsionar a inovação em diferentes setores.
- **Estímulo à criação de *startups* e ao empreendedorismo tecnológico:** fundamental para promover a inovação e a geração de empregos qualificados. Iniciativas futuras poderiam incluir o aprimoramento de programas de incubação e aceleração de *startups*, acesso a financiamento e a criação de ambientes favoráveis ao empreendedorismo, essas ações passam por uma difusão da cultura da inovação não somente nas empresas, mas na sociedade de forma geral.
- **Cooperação internacional em CT&I:** o Brasil deve buscar parcerias e cooperação com países com maior maturidade em CT&I, buscando absorver boas práticas e conhecimentos avançados. Isso pode ser feito por meio de acordos de colaboração, intercâmbio de pesquisadores e participação em programas internacionais de pesquisa. A internacionalização de PI por meio do uso de acordos e tratados internacionais poderia potencializar o desenvolvimento tecnológico do País trazendo investimento externo e consolidando o Brasil como um protagonista global em PD&I.

Conclui-se que para atingir o protagonismo internacional almejado é importante ressaltar que se deve priorizar o fortalecimento das estruturas de apoio à PD&I em especial as ICTs e seus respectivos Núcleos de Inovação Tecnológica – NITs, os quais cumprem papel fundamental de instrumentalizar as políticas de inovação bem como gerir os ativos de PI e coordenar a transferência de tecnologia.

Fortalecer os NITs e aprimorar os mecanismos de Transferência de Tecnologia – TT é fundamental para que o Brasil avance na agenda de desenvolvimento tecnológico, de acordo com Marques *et al.* (2021) ainda é predominante a cultura da publicação em detrimento à cultura da proteção e transferência de tecnologia, portanto há de se alterar esse paradigma em favor de uma cultura voltada à inovação e geração de ativos intangíveis e econômicos.

4.2.3.2 Base Estrutural da CT&I (Recursos Essenciais)

Passado e Presente:

- A base estrutural de CT&I apoiada em cultura e políticas voltadas à inovação instrumentalizam por meio de sua estrutura o ambiente propício à produção científica e inovação. O modelo da tríplice hélice em que estado, setor privado e academia contribuem em um ciclo virtuoso para o desenvolvimento tecnológico e socioeconômico (Etzkowitz, 2008), encontra-se consolidado e mostrou-se amplamente utilizado nas referências internacionais pesquisadas (APEC, 2023; Fundación Valenciaport, 2019; Port, 2023; STC Group, 2023), em que os diversos setores (público, privado e academia) formaram o próprio ecossistema de inovação para os portos, com resultados práticos.
- No Brasil a lei nº 8.630 de 1993, conhecida como Lei de Modernização dos Portos previu a criação dos centros de excelência portuários (Brasil, 1993); neste contexto nasceu a Fundação CENEP que desde então, com homologação da marinha do Brasil atua no treinamento, capacitação e difusão da ciência portuária (CENEP, 2023), contudo se faz necessária a implantação destas instituições em rede com abrangência nacional, melhor gestão dos recursos previstos em lei para o seu financiamento e principalmente torná-lo protagonista do ecossistema de inovação portuário nacional, a Fundação CENEP promoveu em 2023 a primeira edição do Congresso Nacional Integra Portos – CNIT, tendo sido submetidos 83 (oitenta e três) artigos científicos e uma área temática específica para inovação e tecnologia, assim como a apresentação de *pitches* de *startups* com soluções para a área portuária, provendo um importante repositório para o setor.

- A APS e Fundação CENEP formalizaram um termo de cooperação para a realização de pesquisas apoiadas por meio de uma linha de fomento provida pela APS.
- Diversos setores industriais e autoridades portuárias nacionais entenderam a importância de adotar o modelo de inovação aberta (Docherty, 2006), já consolidado nos portos de referência em desenvolvimento tecnológico, este modelo tem sido gradativamente adotado e já mostra resultados como os mapeados pela nota técnica do BID (2023) com menções aos portos de Santos e Itaquí.
- A AP do porto de Santos promoveu e apoiou o Inova Portos e o Porto Hack, eventos voltados à inovação portuária, instituiu uma Norma da Autoridade Portuária – NAP para a inovação, compartilhando dados com empresas interessadas em desenvolver soluções tecnológicas para o porto.
- A APS lançou em 2019 uma agenda para o desenvolvimento do porto 4.0, digitalizando diversos serviços em sua plataforma, revendo e otimizando processos. Ressalta-se ainda a parceria firmada com o Cubo Itaú, uma das maiores aceleradoras da América Latina.
- A Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP desenvolveu e implantou em 2022 uma política de inovação e lançou os programas Farol e Porto do Futuro, para fomentar juntamente com universidades públicas e privadas do estado o desenvolvimento e inovação tecnológica portuária.
- Diversas outras iniciativas pontuais de desenvolvimento tecnológico e inovação vêm sendo adotadas pela comunidade portuária e APs públicas e privadas como apontam Schreiber et al. (2022).

Futuro:

- A consolidação do ecossistema de inovação no Brasil só será possível fortalecendo os recursos humanos por meio de investimentos na formação, especialização e pesquisa básica e aplicada, para isso sugere-se que o modelo de inovação consiga internacionalizar-se e com isso captar tecnologia por meio da TT e gerar receita pela cessão e licenciamento da PI obtida no processo de inovação. Ressalta-se a falta de sinergia entre os entes públicos

e privados e ainda das esferas nacionais e subnacionais. A implantação de modelos de gestão da inovação com fundamentação teórica e adoção de boas práticas baseadas em normas e referências técnicas são fundamentais para a evolução dos modelos atuais (ABNT, 2020; Bagno; Salerno, 2014).

4.2.3.3 *Tecnologias e Conhecimento (Desenvolvimento Crítico)*

Elaborou-se um modelo conceitual a partir da teoria de controle e automação que possui como tripé fundamental os blocos de tecnologia de sensoriamento-processamento-atuação acrescidos das camadas de energia e redes, para se analisar a evolução deste modelo ao longo do tempo aplicado ao sistema portuário, seus processos e *inputs/outputs*. Este modelo é aplicável e passível de extrapolação aos momentos distintos da linha do tempo por basear-se nos fundamentos do controle e automação (Borges Garcia, 2017; Ogata, 2010) independentemente da tecnologia disponível ou utilizada, o modelo parte de um bloco de sensoriamento que capta os dados de estado dos processos, um bloco (processamento) que trata estes dados comparando-os com um estado desejável e informando o desvio (erro) entre o captado, o desejável e o bloco de atuação em que este desvio é passado ao sistema e/ou equipamentos que farão as ações corretivas e ou preditivas de acordo com o modelamento do sistema (malha aberta ou fechada). Adicionalmente ao modelo foram inseridos os blocos das tecnologias de rede e energia por serem fundamentais ao funcionamento dos sistemas de controle e automação e sua evolução tecnológica impacta diretamente a eficiência, segurança e critérios de sustentabilidade investigados no *TRM*.

A partir do modelo conceitual construído foi realizada a pesquisa em base de dados (*Web of Science – WoS*) e de patentes:

- Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI);
- European Patent Office (EPO);
- United States Patent and Trademark Office (USPTO);
- Japan Patent Office (JPO);
- Canadian Intellectual Property Office (CIPO);

- Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI).

Esta pesquisa patentária foi realizada entre o período de julho de 2021 e agosto de 2023 abrangendo patentes de invenção ou modelo de utilidade que contemplassem soluções técnicas e/ou de método aderentes ao modelo conceitual construído e seus blocos (sensoriamento, controle, atuação, energia e rede), sendo o critério de seleção a priorização de patentes concedidas e de invenção. Para a busca utilizaram-se as ferramentas disponíveis das próprias bases de patentes citadas e a ferramenta Orbit disponibilizada institucionalmente pela UFSC.

Passado:

- (i) **energia**: a fonte primária de energia era essencialmente a elétrica convencional, e para os equipamentos o combustível (diesel ou gasolina) com exceção aos de uso em ambientes classificados (fechados ou com restrição de centelhamento) que utilizavam o GLP. As tecnologias e conhecimentos disponíveis neste momento observado eram advindas da indústria 3.0 e tinham como base o avanço dos dispositivos eletrônicos;
- (ii) **redes**: as industriais utilizavam o padrão ethernet, eram locais (*LAN*²³) e dependiam de servidores caros, grande e complexa infraestrutura de cabeamento e limitadas no fluxo de dados a 10 Mbps. As principais competências requeridas nesta época eram relativas à infraestrutura de rede, programação, modelamento de sistemas de automação e controle, engenharias e ciência da computação.
- (iii) **sensoriamento**: os sensores eram capacitivos ou indutivos em sua maioria e possuíam grande limitação de alcance;
- (iv) **Processamento**: as CPUs²⁴ tratavam os dados e eram limitadas à frequência na ordem de Hz e mais próximo dos anos 2000 chegou-se aos MHz, ainda limitando a capacidade e velocidade de processamento e quantidade de variáveis controladas pelos sistemas.
- (v) **atuação**: eram baseados nos servomecanismos industriais característicos da robótica industrial, com boa repetibilidade e substituindo a mão de obra

²³ LAN: local área network.

²⁴ CPU: central processing unit.

humana nas tarefas repetitivas, porém sem a possibilidade de integração destes ficando a operação restrita via IHM (interface homem-máquina);

Presente:

- (i) **energia:** no início dos anos 2000 com o advento da indústria 4.0 houve a implantação de muitas novas tecnologias, as fontes de energia tornaram-se mais diversificadas e sustentáveis como a fotovoltaica, eólica e biomassa. Essas tecnologias já eram conhecidas, porém a sua utilização em escala comercial só passou a ser possível com o desenvolvimento da tecnologia e a sua maior eficiência e custo-benefício.
- (ii) **redes:** passaram a contar com tecnologias de fibra ótica alcançando atuais 100 Gbps; essa velocidade proporcionou novas soluções e o avanço da web 3.0 proporcionando uma nova exploração dos dados e do ambiente da internet, fazendo com que o ambiente virtual seja uma extensão do ambiente real com maior realismo e potencializando os dados gerados em informações por meio da IA, *big data*, *machine learning*, *deep learning* etc. As competências requeridas para essas tecnologias são, entre outras: *design thinking*, *UX (user experience)*, metodologias ágeis, ciência de dados e engenharias além das *soft skills* como pensamento crítico, habilidades para ambientes de desenvolvimento colaborativo e conceitos de gestão da inovação;
- (iii) **sensoriamento:** os sensores *IoT*s atuais beneficiados com baterias de longa duração e aptos a captar uma infinidade de grandezas de estado (velocidade, peso, aceleração, etc.) e muitas outras variáveis de ambiente como: luz, cor, umidade do ar e do solo, biometria, etc., e ainda enviar em tempo real os dados por meio do protocolo de internet e a possibilidade de programação por *software* embarcado integrando sensores e atuadores no mesmo dispositivo ou por meio de suas *I/Os* (entradas e saídas).

- (iv) **processamento**: surgimento das *GPUs*²⁵, os microprocessadores passaram a operar em frequências de GHz com menos consumo de energia e miniaturização crescente.
- (v) **atuação**: robótica passou a ser colaborativa integrando homem e máquina e em alguns casos (ainda com tecnologia em desenvolvimento) amplificando as capacidades humanas nos processos (exoesqueleto, realidade aumentada, realidade virtual, etc.).

Futuro:

- (i) **energia**: estão migrando para se adequar às crescentes restrições dos GEE²⁶ e há uma tendência ao uso cada vez maior de fontes alternativas às fósseis, o hidrogênio verde, energia fotovoltaica, geotérmica, maremotriz entre outras. Recentemente foram achados depósitos de isótopo de hélio-3 na lua e caso demonstre-se economicamente viável pode se tornar uma poderosa fonte alternativa de energia.
- (ii) **redes**: com potencial igualmente disruptivo as redes poderão contar com novos meios físicos de condução, tecnologias já comerciais de acesso à internet por satélite e possivelmente terão seu custo diminuído proporcionando um alcance global de acesso à rede.
- (iii) **sensoriamento**: bio-sensores são dispositivos híbridos e combinam componentes biológicos e eletrônicos possibilitando a sensorização analógica de substâncias com a transdução digital; sua aplicação pode ter um campo importante nos portos para a detecção e monitoramento de risco biológico e químico (incluindo vírus e narcóticos) em tempo real e sem a exposição do ser humano no processo.
- (iv) **processamento**: a computação quântica é uma inovação totalmente disruptiva e com potencial de aplicação infinito quando disponível em escala comercial, a computação quântica baseia-se na mecânica quântica e como seu processamento não é baseado no estado físico da eletrônica e dos *bits* (0

²⁵ GPU: *graphics processing unit*.

²⁶ GEE: gases de efeito estufa.

e 1) e sim dos *qubits* que podem representar simultaneamente o estado 0 e 1 pela técnica conhecida como superposição, é esperado que modelos preditivos, algoritmos complexos e criptografia sejam solucionados com uma escala de tempo impensável com a computação convencional; as gigantes de tecnologia Google, Amazon e IBM já possuem computadores quânticos porém ainda não estão, até o presente momento, totalmente funcionais.

- (v) **atuação**: o conjunto das tecnologias hoje chamadas de tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 alcançaram um novo patamar (Wan; Cai; Zhou, 2015), o próprio caráter disruptivo da inovação limita todas as previsões, porém as tendências detectadas apontam no sentido de que as tecnologias 5.0 serão desenvolvidas incorporando o ser humano nos processos, nas funcionalidades e principalmente no valor a ser entregue, esse conceito é conhecido como *human-centered* abordado na obra “A People-centric Super-smart Society 5.0” (Hitachi LAB, 2020).

4.2.3.4 Sistemas, Plataformas e Componentes (Demanda Tecnológica)

O levantamento e análise dos sistemas, plataformas e componentes foram agrupados em:

- **TI**: tecnologias voltadas ao processamento de dados com ferramentas computacionais e ciência de computação.
- **Automação**: sistemas, métodos e componentes aplicáveis na automação de processos.
- **Infraestrutura**: componentes, equipamentos infraestrutura, superestrutura, métodos e modelos conceituais de operação.

Passado:

- Os sistemas portuários foram puxados por uma tendência de mercado voltada para a produtividade e escalabilidade observadas desde a II Revolução Industrial com a padronização de processos, linhas de produção e especialização da mão de obra; neste contexto surgiu o contêiner, creditado

como uma das maiores inovações do século XX, seu inventor foi incluído no *National Inventors Hall of Fame* dos Estados Unidos da América (Levinson, 2008) e proporcionou um aumento na produtividade e segurança para a carga e a operação, principalmente pela sua característica de padronização, descrita em sua patente (McClean, 1954) e posteriormente aperfeiçoada e publicada na NBR ISO 668 (ABNT, 2000), o primeiro terminal de contêineres no Brasil foi o TECON no Porto de Santos e iniciou suas atividades em 1981. Com a chegada de tecnologias digitais e de automação da III Revolução Industrial vários equipamentos de movimentação de cargas até então puramente mecanizados passaram a adotar algum grau de automação por meio da adaptação de dispositivos desenvolvidos para a área industrial e incorporados aos equipamentos²⁷ pesados como os guindastes de pátio (*RTG, RMG*, etc.) e de cais (*STSGC*), esta incorporação proporcionou dados digitalizados destes processos, agora passíveis de controle e automação por dispositivos como os *PLCs* (controladores lógicos programáveis), esses dados digitais da operação alimentaram sistemas²⁸ como o *TOS* e naturalmente houve uma crescente integração das atividades operacionais com as de nível estratégico monitoradas pelos *ERPs*, o uso das redes também foi potencializado pela necessidade do fluxo de dados para análise e controle de informações dos processos e negócios.

Presente:

- As tendências observadas na IV Revolução Industrial alteraram o foco da produtividade para a geração de valor ao usuário do sistema portuário. Neste contexto, as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 tiveram papel relevante no desenvolvimento tecnológico portuário, modelos conceituais como os de *smart ports* e *green ports* surgiram nos principais e mais movimentados portos do mundo como Xangai, Roterdã, Singapura, Los Angeles, etc. No Brasil começaram a entrar em operação equipamentos altamente sofisticados,

²⁷ STSGC, MHC, RTG, RMG: *ship to shore gantry crane, mobile harbor crane, rubber tire gantry, rail mounted gantry.*

²⁸ JUP, PSP, TOS, ERP: *Janela única portuária, porto sem papel, terminal operating system, enterprise resource planning*

porém todos importados, sendo observado também que não há uma plena utilização, corretamente planejada, implantada e integrada das tecnologias 4.0, existindo utilizações pontuais e que não exploram a sinergia das tecnologias e muitas vezes com protocolos e padrões diferentes em um mesmo sistema; o que impossibilita sua integração, que possibilitariam modelos de negócio com alto valor agregado ao usuário do sistema portuário como a flexibilidade, escalabilidade e sustentabilidade das operações, isso deve-se em grande parte à falta de planejamento integrado na implantação de tecnologia com um olhar holístico ao sistema portuário e para além de suas fronteiras. As tecnologias²⁹ de TI consolidaram-se no papel central do planejamento, monitoramento e controle das operações e negócios, com sistemas como *PCS* potencializados pelo alto poder de processamento, velocidade e volume de dados das tecnologias disponíveis como as do 5G e do arcabouço da IA.

Futuro:

No contexto de futuro a pesquisa apoiou-se nas publicações de artigos e patentes para elaborar o *TF* e as rotas tecnológicas evidenciadas por estas publicações, considerou-se para as patentes tanto aquelas apenas depositadas quanto as já concedidas até o momento da pesquisa, sendo o objetivo principal deste levantamento verificar as tendências e demandas de mercado relacionando-as nas principais áreas e soluções tecnológicas cujas PIs foram requeridas. Considera-se ainda que artigos, geralmente, estejam em *TRLs* mais baixos que patentes em função do grau incipiente da investigação muitas vezes exploratória, embora estratégias de proteção sejam distintas entre empresas e mercados, em função do custo e energia envolvidos no processo de redação e depósito de uma patente, este justifica-se quando existe um potencial concreto de exploração comercial do objeto da patente. Ressalta-se que este levantamento não é exaustivo, levou-se em consideração para este levantamento a aderência das publicações ao *TRM*, as tendências evidenciadas no levantamento dos *drivers* tecnológicos do presente *TF*, o nível disruptivo da

²⁹ *PCS*, *Saas*, *AI*, *ML*: *port community system*, *software as a service*, *artificial intelligence*, *machine learning*.

invenção e o grau de impacto socioeconômico.

- As plataformas se beneficiarão da *big data* e passarão a ter alcance global, integrando sistemas regionais a um sistema global, tecnologias como o *blockchain* poderão viabilizar a segurança, rastreabilidade e anonimização de dados requeridos em alguns casos de compartilhamento de informações. A tecnologia de *smart contracts* poderá automatizar a adesão e execução de contratos de fretamento, armazenagem, seguro e prestação de serviços dos operadores e terminais portuários, proporcionando transparência e otimizando o trâmite burocrático. A infraestrutura poderá solucionar o *driver* secundário apontado de: Uso Racional do Solo, com a adoção de tecnologias *high-bay storage*, os conceitos de *smart ports* e *green ports* (Bergqvist; Monios, 2018; Chen et al., 2019; Duran et al., 2021; Philipp, 2020).
- Patente de invenção concedida que revela um método de distribuição automática de planejamento de terminais de contêineres. De acordo com o método, o problema de distribuição de espaço de unidades de saída é otimizado com base no algoritmo genético, obtendo uma distribuição de espaço mais razoável e o método pode ser aplicado praticamente em vários cenários de cais, como atracações de navios desconhecidos e sequências de agrupamento de portos aleatórios (Yu Mingzhu et al., 2022).
- Patente de invenção concedida de sistema de planejamento e otimização de armazenamento automático de terminais de contêiner utilizando múltiplos guindastes (An Zhongfan et al., 2005).
- Patente de invenção de método operacional e dispositivo automático de operação de guindastes de cais que resolve o problema técnico de substituir um operador de guindaste de cais de contêineres por um controle automático. Os guindastes de cais de contêineres atuais, portanto, são operados de forma semiautomática. Essa operação semiautomática tem sido implementada com sucesso. No entanto, a capacidade de carga/descarga desses guindastes fica aquém das expectativas. A razão para isso é que a maioria dos operadores de guindastes tem dificuldades em operar as funções automáticas. O que falta até o momento é uma interface adequada homem-máquina (IHM) que otimize a interação entre o operador de guindaste e o controle automático, assim

como um método de operação correspondente. Até agora, vários interruptores, botões e lâmpadas indicadoras foram fornecidos nos consoles do assento do operador de guindaste para operar o controle automático. No entanto, esses meios simples fornecem informações insuficientes ao operador de guindaste sobre o estado operacional do controle automático, sobre os próximos alvos a serem alcançados por ele, sobre mensagens de erro ou aviso e/ou sobre outros estados operacionais do controle. Além disso, esses meios simples limitam uma possível intervenção no controle automático (Wolfgang Wichner, 2005).

- Patente de invenção concedida de um sistema de agendamento de ordens de trabalho entre guindastes de empilhamento automatizados que resolve o problema de que atualmente os movimentos realizados pelos guindastes de empilhamento automatizados (*Automated Stack Crane – ASC*) dos contêineres podem ser divididos em três tipos, dependendo de onde o movimento ocorre: de uma zona de transferência para um pátio do terminal para armazenamento intermediário, do pátio para a zona de transferência ou realocação dentro do pátio (para melhorar a posição ou obter acesso a um contêiner localizado abaixo). Além disso, eles perceberam que cada instância desses tipos de movimento é realizada apenas por um dos ASCs. Os inventores também perceberam que existem pelo menos duas situações em que a estratégia atual de ordem de trabalho fornecida pelo Sistema de Operação de Terminal (*TOS*) não é ideal. Primeiro, quando há uma alta porcentagem de ordens de trabalho longas, ou seja, quando os contêineres precisam percorrer uma longa distância (>50% do comprimento do pátio), as trajetórias dos ASCs frequentemente se cruzam, e um ASC muitas vezes precisa ceder e esperar pelo outro ASC para evitar colisões. Nesses casos, o tempo de cedência dos ASCs é indesejavelmente alto. Em segundo lugar, quando a carga de trabalho é desigual entre as duas extremidades do pátio, a carga de trabalho também é desigual entre os ASCs. Um ASC pode ficar ocioso enquanto o outro ASC está lutando para acompanhar o trabalho gerado pelo restante do terminal. Nessas circunstâncias, a utilização dos recursos dos dois ASCs é indesejavelmente baixa. Portanto, um objetivo

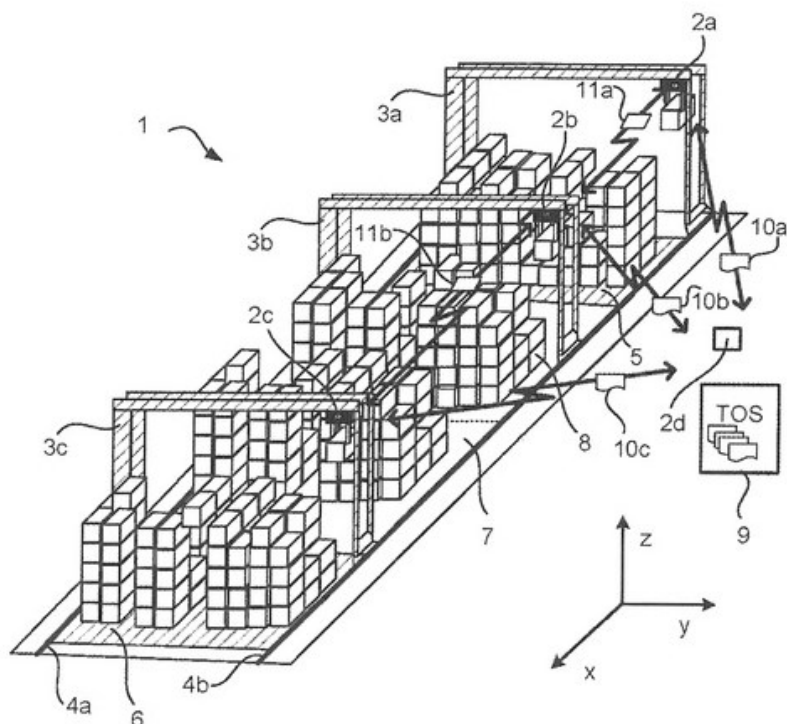
específico é fornecer o agendamento de ordens de trabalho entre pelo menos dois ASCs, permitindo assim a transferência dinâmica de ordens de trabalho entre os ASCs não cruzantes em um pátio terminal. De acordo com um primeiro aspecto, é apresentado um método para agendar ordens de trabalho entre pelo menos dois guindastes de empilhamento automatizados (ASCs). O método envolve a aquisição de pelo menos uma primeira ordem de trabalho programada para um primeiro ASC e uma segunda ordem de trabalho programada para um segundo ASC. O método também envolve a determinação da responsabilidade da primeira ordem de trabalho e da segunda ordem de trabalho, determinando qual dos ASCs deve executar a primeira ordem de trabalho e qual dos ASCs deve executar a segunda ordem de trabalho. O método ainda envolve a determinação da prioridade da primeira ordem de trabalho e da segunda ordem de trabalho, determinando a ordem em que a pelo menos primeira ordem de trabalho e a segunda ordem de trabalho devem ser executadas (Zanarini; Henriksson, 2014).

- A patente de invenção depositada que oferece um método de previsão do tempo de operação de uma ponte rolante que é aplicado a um terminal de contêineres. Ao utilizar dados de operação históricos e atuais e adotar um modo de enumeração para descrever dados de operação específicos, a aquisição de dados é mais abrangente e o tempo de conclusão da operação de carga e descarga da ponte rolante pode ser previsto com maior precisão (Zou Ying; Zhang Chuanjie; Xie Zongzhe, 2022).
- Patente de invenção concedida de um sistema e método para operação de um caminhão de pátio de veículo autônomo (AV). O sistema calcula a altura do reboque e ou se o trem de pouso do reboque está no solo e interoperar com a quinta roda para alterar a altura e se o encaixe é seguro, permitindo que o usuário assuma o controle manual e o(s) tempo(s) de carga ideal(is). Sensores de reversão/segurança, calços automatizados e organização intermodal de contêineres também são fornecidos (Rowley Dale Johannes Matthew S Seminara Gary Nett et al., 2022).
- Patente de invenção concedida de um método e sistema de monitoramento de estado de equipamento navio-costado (STS). O sistema compreende um

sensor de tensão-deformação, um sensor de vibração e temperatura, um sensor de tensão, um codificador de valor absoluto, um transformador de corrente, um comutador de relé e uma pluralidade de processadores de aquisição de dados. Com o sistema o computador pode monitorar os dados em tempo real do equipamento on-line e a eficiência do trabalho é impedida de ser influenciada. Além disso, no processo de monitoramento, o diagnóstico de falha é realizado no equipamento correspondente de acordo com os dados de operação, o resultado do diagnóstico de falha é emitido, o aviso prévio de falha é realizado e a segurança operacional de uma porta inteligente é garantida (Li Yang et al., 2022).

- Patente de invenção depositada que compreende operações de guindaste remoto *RTG* (Rubber Tire Gantry) em tecnologia *Wi-Fi* usado para fazer carregamento e descarregamento por meio de estação de operação remota em que uma infraestrutura de rede sem fio é fornecida para garantir a operação ininterrupta comunicação, acesso e operações remotas entre o guindaste *RTG* e a Estação de Operação Remota (*ROS*), mesmo durante a troca de berço. A operação remota do guindaste *RTG* é feita usando rede local sem fio (*WLAN*) que é uma rede de computadores sem fio que liga dois ou mais dispositivos usando um método de distribuição sem fio dentro de uma área limitada (Bhagat Ramesh Kumar; Patel Jagdish; Parmar Darmendra, 2018).
- Patente de invenção concedida ilustrada na Figura 45 de um sistema ou método, para controlar pelo menos dois guindastes de pórtico montados em trilhos automatizados (*RMG*). A reprogramação pode ser obtida uma das ordens de serviço em pelo menos duas novas ordens de serviço e re-sequenciando e realocando as ordens de serviço resultantes para reduzir o número ou a duração das situações, em que a trajetória esperada de um guindaste bloqueia a trajetória esperada de outro guindaste e/ou para reduzir um desequilíbrio de carga de trabalho entre os guindastes. A unidade de reprogramação opera em paralelo com as unidades de controle do guindaste e atualiza dinamicamente essas ordens de serviço originais (Saliba Sleman et al., 2014).

Figura 45 – Sistema de Controle para múltiplos RMGs

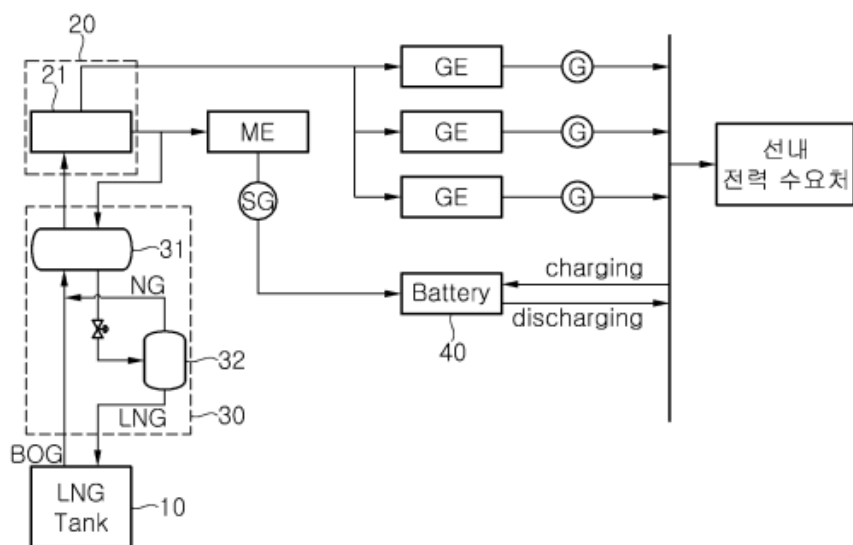


Fonte: Saliba Sleman et al. (2014)

- Patente de invenção depositada de um sistema integrado de rede de segurança a bordo de um navio inteligente (*smartship*) com segurança cibernética. Em caso de falha de rede de conexão de um dos grupos de rede *onboard*, o *backup* é feito manualmente por meio do outro grupo de rede *onboard* para construir uma topologia de rede em consideração da segurança cibernética para reforçar a segurança cibernética a bordo, evitando assim a expansão de acidentes em caso de acidente cibernético (Kwon; Park; Sik Ryu, 2020).
- Patente de invenção que fornece um método para operar um navio ilustrada na Figura 46, compreendendo: um motor principal para gerar energia de propulsão; uma pluralidade de motores geradores para gerar eletricidade necessária para o navio; um gerador de eixo conectado a um eixo para conectar o motor principal e o hélice, para gerar eletricidade usando a força rotacional do eixo; e uma bateria para receber e armazenar a eletricidade dos

motores do gerador e do gerador de eixo. O navio é operado em qualquer um dos seguintes: um primeiro modo operacional de fornecimento de gás de evaporação (BOG), gerado a partir de um tanque de armazenamento de GNL fornecido no navio, como combustível para o motor principal, e fornecimento de eletricidade, gerada pelo poço gerador, para uma fonte de demanda no navio; um segundo modo de operação de fornecer BOG, gerado a partir do tanque de armazenamento de GNL, um combustível para o motor principal, fornecendo eletricidade, gerada pelo gerador de eixo, para uma fonte de demanda no navio, abastecendo o BOG excedente, deixado após ser consumido como o combustível para o motor principal, para os motores geradores como combustível, e armazenando a eletricidade gerada na bateria; um terceiro modo de operação de abastecimento de BOG, gerado a partir do tanque de armazenamento de GNL, como combustível para o motor principal, fornecimento de eletricidade, gerada pelo gerador de eixo, fonte de demanda do navio e liquefação do BOG excedente, deixado após ser consumido como combustível para o motor principal; e um quarto modo operacional de abastecimento do BOG, gerado a partir do tanque de armazenamento de GNL, um combustível para o motor principal, fornecendo energia elétrica, gerada pelo gerador de eixo, para uma fonte de demanda no navio, abastecendo o BOG excedente, deixado após ser consumido como combustível para o motor principal, para os motores do gerador como combustível, enquanto reliquefaz o excesso de BOG e armazena a eletricidade gerada na bateria. Portanto, o consumo de combustível pode ser otimizado utilizando o BOG de forma eficiente (Jang, 2019);

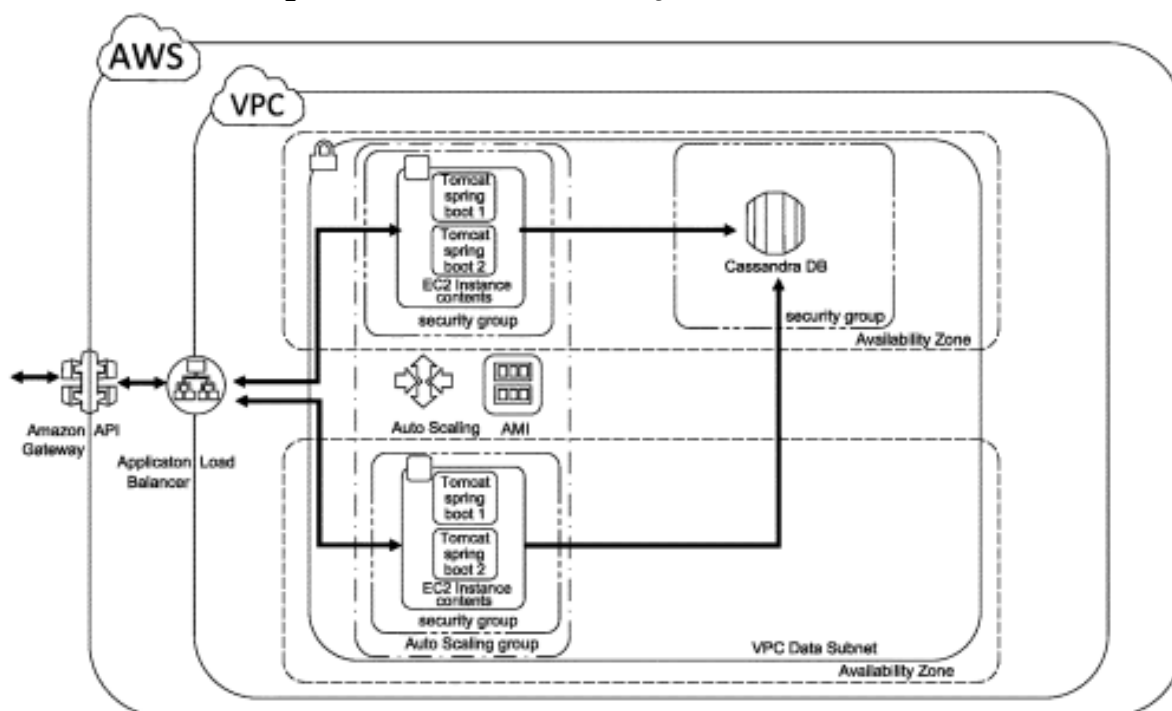
Figura 46 – Eficiência Energética em *Smartships*



Fonte: (Jang, 2019)

- Patente de invenção concedida de um sistema e método para prever e sugerir planos de viagem para uma embarcação ilustrada na Figura 47, considerando parâmetros de projeto, clima em rotas de navegação e a preferência do usuário pelo melhor clima ou melhor economia ou maneira mais rápida de chegar ao destino. Os planos de viagem são otimizados usando os parâmetros acima e as direções são fornecidas continuamente na forma de direção e velocidades a serem mantidas pela embarcação durante o curso da viagem (Jha Somesh; Raj Piyush, 2023).

Figura 47 – Sistema de Otimização de Rotas Marítimas



Fonte: (Jha Somesh; Raj Piyush, 2023)

Nota-se que os artigos e as patentes depositadas e/ou concedidas trazidas neste levantamento possuem aderência às tendências indicadas pelo *TF* sendo entre outras as tecnologias evidenciadas aquelas:

- que solucionem e ou potencializem a integração de diversos dispositivos com o conceito *smart*;
- veículos autônomos de carga, guindastes autônomos de movimentação de carga, veículos e embarcações *smart*;
- sistemas e dispositivos para a eficiência energética;
- cibersegurança, uma vez que os dispositivos estarão sendo operados e monitorados por meio digital.

4.2.3.5 Cenários (Visão Tecnológica)

- **Passado:** sistema portuário predominantemente mecanizado com a transição para os equipamentos de modelos da indústria 3.0 sendo inseridos a partir das décadas de 1980-90, a visão tecnológica era focada nos princípios da

indústria 3.0 de alta padronização, repetibilidade e escalabilidade, com a sensível demanda por mão de obra especializada.

- **Presente:** com o advento da indústria 4.0 o sistema portuário iniciou o processo de transformação digital, conceitos de negócio como flexibilidade da produção, geração de valor ao usuário e inovação tecnológica foram introduzidos gradualmente no sistema portuário, contudo o déficit de uma indústria nacional forte e processos consolidados de PD&I ocasionaram uma dependência de importação de tecnologia, políticas públicas de incentivo e desoneração fiscal para investimento em tecnologia procurou cobrir este déficit. Uma visão tecnológica voltada à inovação potencializou-se principalmente na última década com modelos mais difundidos de inovação aberta e a transferência de tecnologia em nível global.
- **Futuro:** uma visão tecnológica em que o ser humano seja o centro e o principal beneficiado do desenvolvimento tecnológico em detrimento puramente da produtividade e obtenção de lucros possui convergência aos conceitos de *ESG* fartamente achados na literatura, as tendências tecnológicas pesquisadas apontam no avanço do modelo de automação supervisionada pelo ser humano para um modelo de automação autônoma, com a mínima ou nenhuma interação humana em processos repetitivos em especial de movimentação de cargas.

4.2.3.6 Rotas Tecnológicas e Tecnologias Críticas

A partir das evidências coletadas na pesquisa e corroboradas pela metodologia proposta do presente *TF*, a transformação digital assim como em vários setores da economia impactarão significativamente o setor portuário nacional, a digitalização dos dados dos processos e dos negócios e sua transformação em informações estratégicas para a tomada de decisão converterão informações em verdadeiros ativos das empresas, somado a isso a geração de valor das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 aos usuários do sistema portuário estabelece uma relação direta entre essas tecnologias e as rotas necessárias ao seu desenvolvimento, neste sentido o presente trabalho aponta duas tecnologias críticas nesta rota, sendo

a tecnologia dos semicondutores, principais componentes dos dispositivos *smart*, e a tecnologia de rede 5G, responsável por prover a infraestrutura adequada que viabiliza o fluxo de dados em volume, latência e velocidade requeridos pelos sistemas e dispositivos atuais, assim como aqueles das próximas gerações que demandarão ainda esses requisitos.

Sendo assim, mostra-se necessária a investigação do atual estágio de PD&I dessas tecnologias em âmbito nacional, para que haja uma autonomia da indústria brasileira no desenvolvimento das tecnologias de ponta levantadas pelo *TRM*.

4.2.3.6.1 Tecnologia 5G

O MDIC divulgou a prospecção tecnológica realizada em parceria com o INPI e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, por meio do Núcleo de Inteligência em Propriedade Industrial – NIPI, sobre a Propriedade Intelectual relacionada às cidades inteligentes, abordando áreas como conectividade, segurança, mobilidade e sustentabilidade. O conceito de cidades inteligentes envolve o uso abrangente da inovação para melhorar o ambiente urbano, tecnologias como veículos autônomos e conectados, internet das coisas, realidade aumentada e virtual, e-saúde, entre outros, este conceito pode ser extrapolado no que se refere ao uso da tecnologia com os portos inteligentes, portanto servirá como base dos principais atores envolvidos nessas tecnologias. O estudo buscou identificar tecnologias e atores nesse setor por meio da análise de pedidos de patentes analisando o interesse crescente do tema no Brasil e no mundo e indicou que a China, Estados Unidos e Japão dominam a área de tecnologia para cidades inteligentes. Embora haja um crescimento recente no número de patentes no Brasil.

No Brasil, existem projetos patenteados de *IOTs* e e-saúde, mas não há projetos de veículos conectados e realidade aumentada e virtual, áreas com grande potencial de crescimento e parcerias comerciais. O estudo destaca ainda a importância de subsidiar políticas públicas que estimulem o desenvolvimento produtivo e tecnológico, focando na transformação digital.

No Quadro 11 relacionam-se as principais aplicações para a tecnologia 5G no Brasil, os principais países depositantes e o número de depósitos por país.

Quadro 11 – Aplicações de 5G no Brasil e Depositantes por País

Principais Aplicações	País do Depositante	Depósitos
Acesso à banda larga	US	107
	JP	49
	CN	26
Internet das coisas	US	36
	CN	11
E-health	US	28
	CN	14
	SE	9

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de (Romano Villa et al., 2023, p. 9).

Verifica-se a concentração de aplicações no acesso à banda larga e o domínio dos Estados Unidos da América, Japão e China, pode-se concluir que o baixo número de depositantes nacionais reflete o grau da PD&I dessas tecnologias no Brasil e a consequente dependência externa que acarretará.

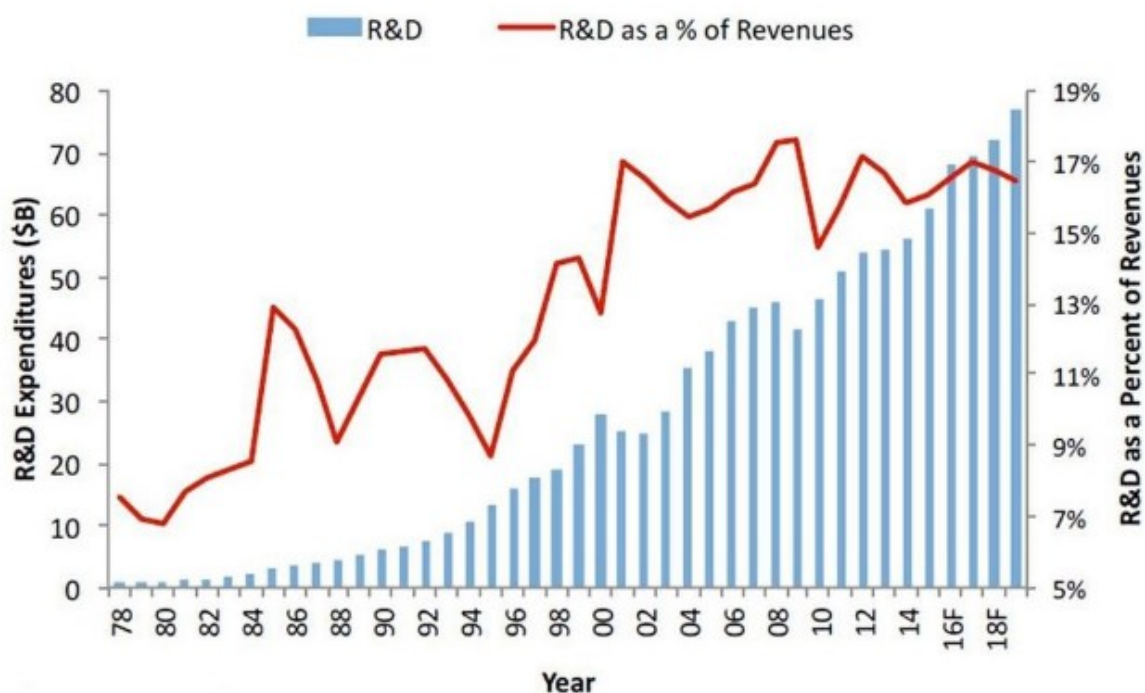
4.2.3.6.2 Semicondutores

Os semicondutores são componentes-chave na indústria eletrônica possuindo uma ampla gama de aplicações e de complexibilidade, de forma geral esses componentes tornaram-se tão importantes que seu desenvolvimento e domínio do estado da arte na área altera a balança de poder econômico e geopolítico global. Diversos setores nacionais, entre eles o automobilístico, foram impactados durante e após a pandemia do COVID-19 face à dificuldade da China, uma das principais fornecedoras em nível global em manter os níveis da cadeia de suprimento deste componente, gerando alta significativa dos preços dos automóveis e outros produtos dependentes deste componente.

Diversos países reconheceram o papel estratégico dessa indústria por possibilitarem o desenvolvimento de diversas outras áreas tecnológicas, pela contribuição na balança comercial pela exportação de produtos com maior valor agregado, pela especialização proporcionada à mão de obra local, ser uma fonte de vantagem competitiva às indústrias nacionais e ter um papel importante nas tecnologias envolvidas na segurança nacional (Wessner, 2003). Neste sentido o Brasil vem incentivando a retomada e desenvolvimento do ecossistema do setor desde os anos 2000 por meio de diversas políticas públicas.

O estudo laureado no 37º Prêmio BNDES de Economia, “Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil” (BNDES, 2020), trouxe o levantamento do mercado de semicondutores no mundo e sua respectiva análise das despesas de P&D relacionadas percentualmente às receitas das empresas, ilustrado na Figura 48.

Figura 48 – Investimento em P&D na Indústria de Semicondutores sobre o Porcentual de Receita



Fonte: Filippin (2020).

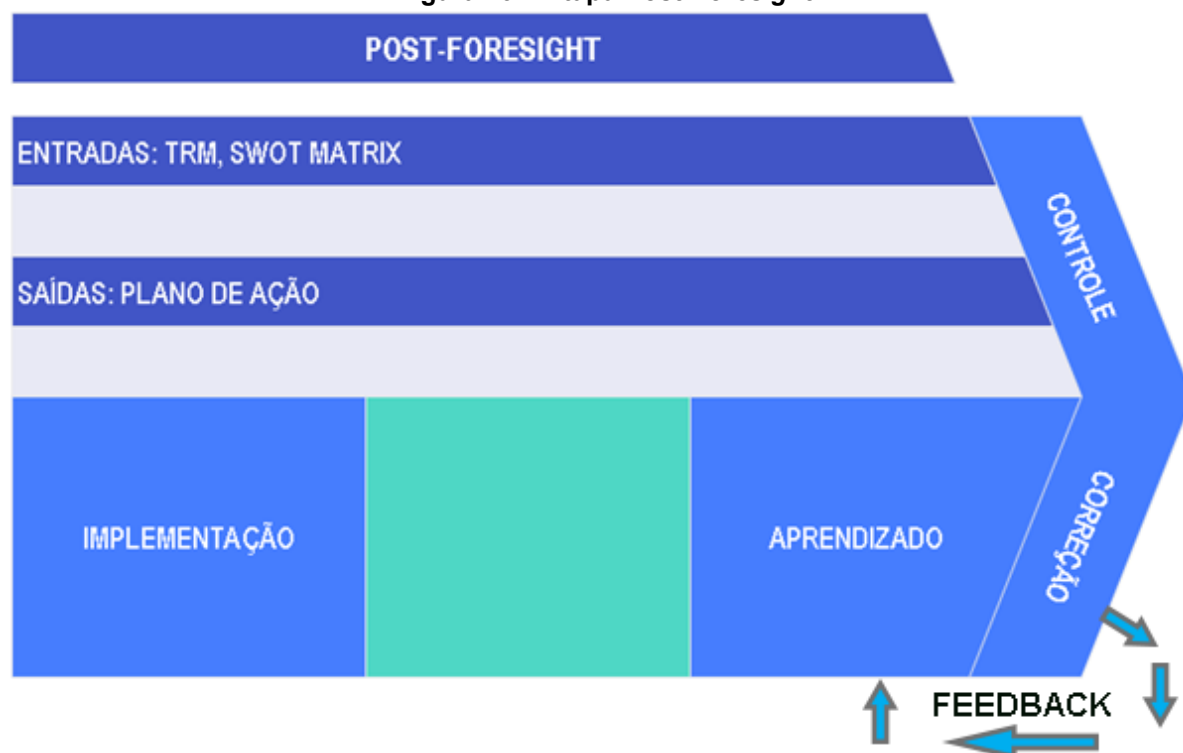
Conclui-se que as empresas vêm aumentando substancialmente os investimentos em P&D na área de semicondutores, o estudo citado conclui ainda que o ecossistema brasileiro de semicondutores cresce consistentemente demonstrando resultados positivos das políticas públicas empregadas, porém ainda está longe de ser um ator de importância no cenário global, para que isso ocorra o Brasil deve dar continuidade na sua agenda de reindustrialização e fortalecer a PD&I neste setor.

4.3 POST-FORESIGHT

A etapa de *post foresight* detalhada na Figura 49 tem como um dos principais objetivos o aprendizado contínuo e a correção e melhoria e poderá ser realizada por meio do acompanhamento de índices de eficiência do processo, como publicações

científicas nas áreas aderentes ao setor portuário, depósitos de patentes e a implantação de ações de políticas públicas assim como socioeconômicas como investimentos em PD&I, aperfeiçoamento técnico dos recursos humanos que impactarão nos indicadores de avanço tecnológico.

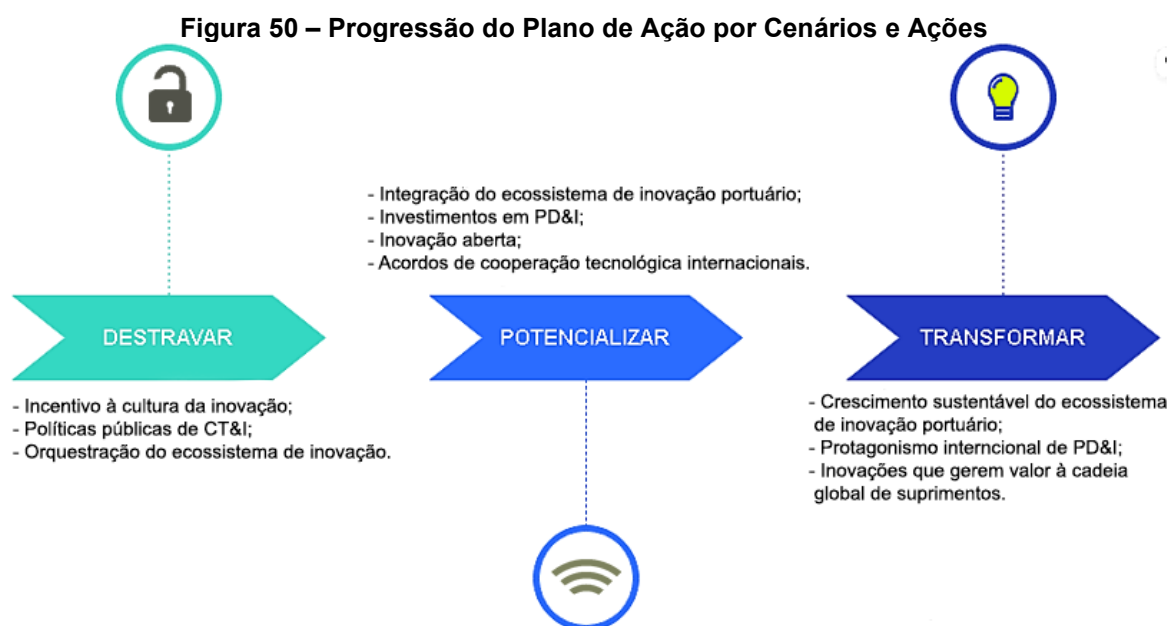
Figura 49 – Etapa *Post-Foresight*



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3.1 Plano de Ação

No estudo “Visão 2035: Brasil, país desenvolvido”. Agendas setoriais para alcance da meta (BNDES, 2018), propõe-se a progressão do plano de ação em três cenários e respectivas ações como ilustrado na Figura 50.



Fonte: Adaptado pelo Autor a partir de BNDES (2018)

Conclui-se que a cultura e a política são os alicerces que sustentam CT&I no Brasil sugere-se três fases para o plano de ação do *TF*,

(i) **destravar**: ações de incentivo à cultura da inovação dentro e fora das empresas, implantação de políticas públicas que incentivem o desenvolvimento tecnológico e a inovação e a orquestração do ecossistema de inovação portuário no âmbito nacional em torno de uma agenda comum de desenvolvimento portuário;

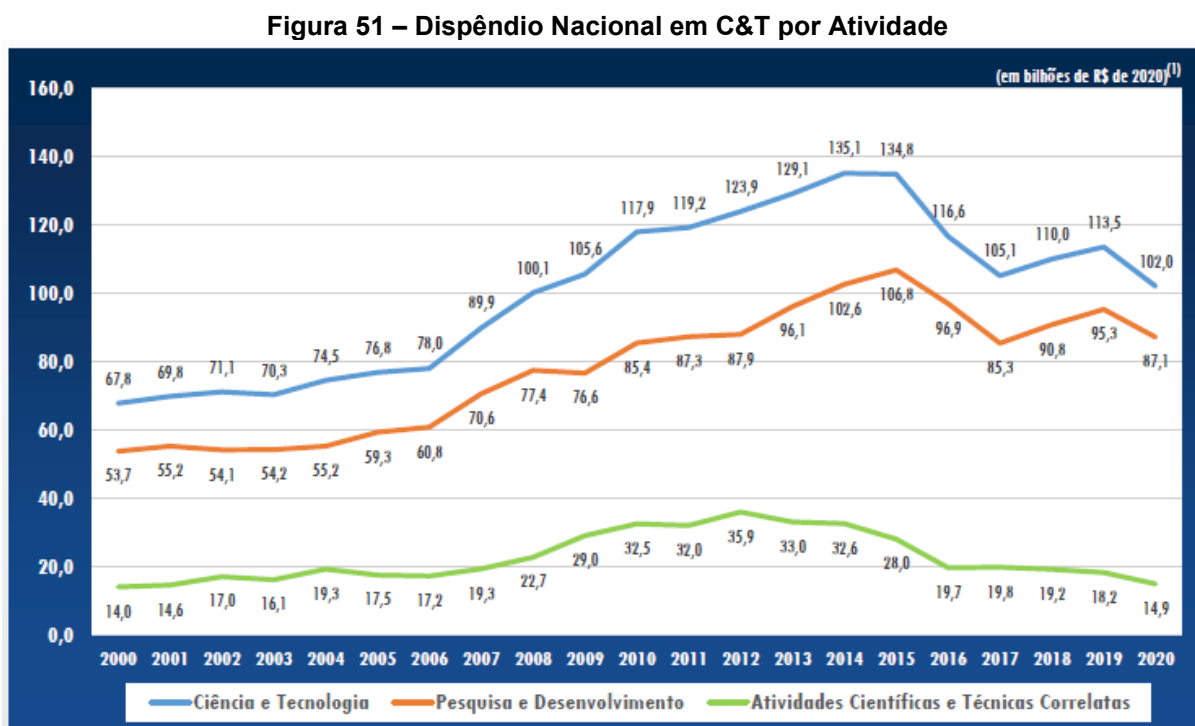
(ii) **potencializar**: integrar iniciativas regionais ao ecossistema nacional de inovação, investimentos em infraestrutura e especialmente nos recursos humanos, acordos de cooperação internacional visando posterior fase de internacionalização do ecossistema;

(iii) **transformar**: tornar o ecossistema sustentável e autônomo sob o ponto de vista tecnológico e econômico, alçar o ecossistema nacional ao nível global de protagonismo em PD&I portuária, focar as inovações em soluções que agreguem valor socioeconômico ao sistema portuário com planejamento adequado de atualização e absorção da mão de obra.

4.3.2 Processo de controle e aprendizado

Conforme Lemos e Cário (2013) é fundamental o investimento no aprimoramento dos recursos humanos. Não só técnicos-científicos mas do

trabalhador portuário para que se possa alcançar um nível de excelência global nas atividades portuárias e de CT&I, um dos indicadores sugeridos para o acompanhamento e aprendizado contínuo da fase de *post-foresight* é o dispêndio nacional em C&T, o histórico deste indicador pode ser visualizado na Figura 51 desmembrado por atividade.



Nota-se que a partir de 2015 todas as atividades tiveram um declínio. Essa falta de planejamento e imprevisibilidade de recursos afeta negativamente agendas importantes de desenvolvimento tecnológico e social uma vez que muitos recursos humanos e materiais empenhados em um projeto de longo prazo são desmobilizados causando grande perda dos recursos e achados já realizados.

5 CONCLUSÃO

Os sinais apontam para uma forte demanda por produtividade, segurança e conformidade socioambiental evidenciados pelo mapeamento do cenário externo, sua evolução e das evidências encontradas na literatura, apontam ainda que a adoção do modelo de *smart ports* atendem de forma satisfatória os *drivers* levantados no *TF* (Fundación Valenciaport, 2019), este modelo de portos apresenta forte tendência na utilização do contêiner, pela sua capacidade de padronização e automação dos terminais portuários, para o sistema portuário as tendências indicam a adoção das tecnologias 4.0 como diferencial competitivo na geração de valor ao usuário pelas características entregues por estas tecnologias, como: integração, alto monitoramento e controle, eficiência energética, flexibilidade e segurança.

O principal resultado de pesquisa a ser enfatizado encontra-se nas tecnologias críticas mapeadas na rota tecnológica traçada no *TRM*, a inclusão do desenvolvimento nacional da tecnologia e infraestrutura 5G (e posteriores) para suportar a camada digital de dados dos processos e dispositivos a serem desenvolvidos e o fortalecimento do ecossistema brasileiro de semicondutores que são os dispositivos-chave para todas as tecnologias *smart* 4.0 apontadas (Filippin, 2020).

A metodologia desenvolvida para o sistema portuário brasileiro foi elaborada a partir de sólidas bases conceituais trazidas do referencial teórico e adaptadas às especificidades do sistema portuário brasileiro. Tendo como produto o *TF* apresentado, a metodologia mapeou e construiu o cenário presente do sistema portuário brasileiro, seus atores, *drivers* tecnológicos, visão de futuro tecnológico e a matriz *SWOT*, com o objetivo de levantar os sinais presentes e criar rotas tecnológicas para alcançar a visão de futuro pretendida, essa construção utilizou o ferramental do *roadmapping* e os resultados obtidos foram apresentados no *TRM* proposto.

O processo de *foresighting* coletou dados por meio de pesquisa bibliográfica, documental e de campo, em fontes de evidência nacionais e internacionais para a construção dos principais *drivers* que apontam as tendências tecnológicas portuárias (Deloitte, 2020).

Drivers:

- **Urbanização:** o processo de urbanização é um fenômeno observado globalmente e pressiona o sistema portuário a encontrar soluções tecnológicas para o uso racional do solo e eficiência logística, assim como faz surgir novos mercados consumidores e rotas comerciais criando a oportunidade para o surgimento de novos portos e modelos de negócio inovadores para o setor.
- **Tecnológico:** a análise do *driver* tecnológico pode ser encarada como uma oportunidade de vantagem competitiva entre portos, fazendo uso das tecnologias 4.0 para o aumento da produtividade, segurança e conformidade socioambiental, esses fatores podem ser somados à geração de valor ao usuário do sistema portuário por meio da flexibilidade de produção, otimização de processos, recursos e maior integração do sistema, característicos do melhor monitoramento e controle proporcionados pela adoção das tecnologias habilitadoras 4.0.
- **Sustentabilidade:** o sistema portuário brasileiro deve considerar a adoção de tecnologias que potencializem os indicadores *ESG* com risco de perder mercados onde essas crescentes restrições socioambientais já são mandatórias, a adoção de tecnologias em conformidade com a sustentabilidade traz benefícios como a otimização de recursos humanos e materiais em especial os recursos energéticos.

A partir desses sinais apontados pelos vetores ou *drivers* foi elaborada a análise das forças e fraquezas (fatores intrínsecos), ameaças e oportunidades (fatores extrínsecos) do cenário construído para o sistema portuário brasileiro, os principais fatores intrínsecos que podem impactar o cenário de futuro tecnológico constataam que o setor portuário é maduro e consolidado no Brasil, porém a cultura da inovação nacional é considerada fraca, com uma política de inovação ainda em desenvolvimento, tendo alta carga tributária e com dependência tecnológica externa, somada ao processo de desindustrialização observado nas últimas décadas, contribuindo assim com grandes desafios para que se reverta este cenário em um ambiente propício ao desenvolvimento de inovações tecnológicas.

Como fatores externos principais apontam-se o potencial nacional de exploração de fontes de energia alternativas e sustentáveis (entre outras o hidrogênio verde) como fator de vantagem competitiva, uma vez que o desenvolvimento tecnológico acarretará uma demanda crescente de energia. As principais ameaças levantadas referem-se aos riscos relativos à cibersegurança em função da camada de dados digitais presentes na maioria dos processos do sistema, ressalta-se ainda que o mapeamento realizado detectou um ecossistema de inovação portuário ainda incipiente no Brasil.

Com o cenário do sistema portuário nacional construído e com o objetivo de projetar um cenário de futuro tecnológico elaborou-se o *TRM* a partir da consolidação dos modelos presentes na literatura, adaptando-os no *framework* proposto por Carvalho et al. (2017).

O *TRM* é apoiado nos eixos temporal, político e cultural com o objetivo de estabelecer uma análise da evolução temporal sob o ponto de vista tecnológico e de inovação.

Eixos:

- **Tempo:** foram levantados três momentos, passado, presente e futuro, delimitados pelas suas respectivas revoluções industriais.
- **Políticas:** no passado as políticas pertinentes à tecnologia e inovação foram influenciadas pelas características das revoluções industriais de buscar alta produtividade e escalabilidade iniciada pela padronização da linha de produção da II Revolução Industrial, e potencializada na III RI com a introdução da robótica industrial, com incentivos a P&D voltados para esses modelos de negócio.
- **Cultura:** foi observada uma transição da cultura do passado voltada à alta produtividade e baixo custo, na atual cultura, apoiada na entrega de valor ao usuário por meio da inovação, com foco na potencialização de objetivos funcionais dos produtos e processos de forma flexível e mais personalizada para o usuário. Os processos e produtos também passaram por adequações que os tornaram mais sustentáveis, tanto em materiais construtivos quanto nas fontes e consumo de energia, o alto nível de automação trouxe também um desafio de integrar o ser humano no processo ao invés de excluí-lo, com

isso a grande tendência observada para a V Revolução Industrial está na condução do ser humano como objeto central dos benefícios trazidos pelas inovações, tornando o processo de automação socioeconomicamente sustentável e inclusivo.

Base Estrutural da CT&I:

Esta é a primeira camada do *TRM*. Observou-se a consolidação do modelo do tríplice hélice com o estado-indústria-academia tendo criado diversas estruturas no sentido de suportar a inovação e a introdução do capital de risco pela iniciativa privada, destacam-se a criação de diversas ICTs públicas e privadas e os NITs que norteiam e dão suporte técnico e de gestão. A evolução dos processos de P&D exclusivos e fechados para a inovação aberta ampliou as possibilidades de TT, trocas de conhecimentos e ativos de PI gerados ao longo do processo, os sinais indicam que esta fronteira dos sistemas de inovação irá ampliar-se para sistemas globais fortalecidos pela segurança jurídica proporcionada pelos tratados internacionais de PI cada vez mais aceitos e difundidos.

Tecnologias Competências e Conhecimento:

Para esta camada foi aplicada a hipótese de pesquisa de que as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem ser extrapoladas e implantadas no sistema portuário com suas adequações e em momento futuro criando uma indústria nacional própria para o setor. Verificou-se que as tecnologias tiveram forte influência das revoluções industriais e que a evolução dessas tecnologias mostrou forte sinal de confirmação da transformação digital no sistema portuário e as tecnologias da V RI serão potencializadas pela computação quântica já em nível comercial impulsionando a resolução de algoritmos complexos em velocidade e volume tecnicamente impensáveis pela computação convencional, para isso as redes de dados deverão suportar o fluxo, volume e latência requeridos neste próximo estágio. Ressalta-se que a grande demanda de energia esperada deverá ser passível de ser suprida por fontes sustentáveis de energias e dispositivos com elevada eficiência energética.

Sistemas Plataformas e Componentes:

Observou-se a evolução dos sistemas e dispositivos da era mecanizada, semiautomatizada pelos conceitos da I 3.0 passando pelos dispositivos altamente digitalizados e baseados no conceito *smart* da I 4.0, apontando uma tendência para

os dispositivos híbridos bio-digitalizados e com o conceito de *full-automation* ou autônomos, com a mínima ou nenhuma interação humana.

Cenários:

A última camada do *TRM* indica os cenários e sua evolução com a visão tecnológica projetada, o cenário do passado foi marcado pela busca de alta escala e baixos custos produtivos caracterizados pelas revoluções industriais e na sua última fase com a introdução da automação proporcionada pela indústria 3.0. A transição para o presente momento se deu na visão de mercado mais voltada à entrega de valor ao usuário como diferencial competitivo, influenciando a PD&I e visão tecnológica das empresas de todos os setores. O cenário de futuro tecnológico projetado aponta forte tendência dos sistemas autônomos com a inovação tecnológica colocando o ser humano no centro do processo e principal beneficiário deste, em detrimento ao lucro visado nos modelos de negócio atuais, tornando assim a visão de desenvolvimento tecnológico socioeconomicamente sustentável.

Perspectivas Futuras

Sugere-se como evolução deste trabalho o aprofundamento de pesquisa na potencialização do mais precioso ativo do sistema portuário, o trabalhador, não apenas considerando os aspectos de segurança e saúde do trabalho, já previstos nas normas regulamentadoras (BRASIL, 2023), mas na sua capacitação e especialização frente à transformação digital em curso, mapear as competências requeridas (Motyl et al., 2017) com o intuito de manter no sistema o conhecimento adquirido por aqueles que desenvolveram o setor, mesmo com tecnologia rudimentar até o seu estágio atual.

Este ativo em forma de conhecimento não deve ser desperdiçado e há de se pensar em um modelo que mantenha o desenvolvimento tecnológico portuário, e seus benefícios sejam sentidos também por aquele sem o qual o sistema portuário não teria razão de existir, o ser humano (Hitachi LAB, 2020).

REFERÊNCIAS

- ABDEL-BASST, M.; MOHAMED, R.; ELHOSENY, M. A novel framework to evaluate innovation value proposition for smart product–service systems. **Environmental Technology and Innovation**, v. 20, p. 101036, 2020.
- ABNT. **NBR 56002: Gestão da inovação — Sistema de gestão da inovação — Diretrizes**. São Paulo: ABNT, 2020.
- ACCENTURE. **Connected Ports Driving Future Trade**. Shanghai: [s.n.].
- ACCIARO, M.; GHIARA, H.; CUSANO, M. I. Energy management in seaports: A new role for port authorities. **Energy Policy**, v. 71, p. 4–12, 2014.
- AIRES, R. W. DO A.; MOREIRA, F. K.; FREIRE, P. DE S. Indústria 4.0: Competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. **Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação-ciki**, v. 1, p. 1–15, 2017.
- AKABANE G. K.; GONÇALVES, M. A. **A Importância do Modelo de Autoridade Portuária como Opção no Planejamento Logístico**. Caxias do Sul: EDUCS, 2008.
- ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Engenharia Portuária**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2019.
- AMER, M.; DAIM, T. U. Application of technology roadmaps for renewable energy sector. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 77, n. 8, p. 1355–1370, 2010.
- AMSTERDAM, P. OF. **Port of Amsterdam accelerates energy transition**. Disponível em: <https://www.portofamsterdam.com/en/press-release/port-amsterdam-accelerates-energy-transition>. Acesso em: 9 jan. 2017.
- AN ZHONGFAN et al. **Automatic storage system of multi-gantry cranes and controlling method thereof**. CHINA, 2005.
- ANDERSEN, A. D.; ANDERSEN, P. D. Innovation System Foresight. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 88, p. 276–286, 2014.
- ANTAQ. **Estatístico Aquaviário ANTAQ**. Disponível em: <http://ea.antaq.gov.br/>. Acesso em: 2 out. 2022.
- ANTÔNIO DA SILVA, R. **EDUCAÇÃO 4.0 PARA A INDÚSTRIA 4.0: PROTAGONISMO DO AVANÇO SOCIAL NO CENÁRIO INTRODUZIDO PELA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO**. [s.l.: s.n.].
- APEC. **Apec Port Training**. Disponível em: <https://apecporttraining.com/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

ASIAN DEVELOPMENT BANK. **Smart Ports in the Pacific**. Mandaluyong, Philippines: ADB, 2020. v. 1

BAGNO, R. B.; SALERNO, M. S. Modelos para a gestão da inovação revisão e análise da literatura. **Production**, v. 24, n. 2, p. 477–490, 2014.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: [s.n.].

BARNEY, J. B. **Gaining and Sustaining Competitive Advantage**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

BASTUG, S. et al. A value chain analysis of a seaport from the perspective of Industry 4.0. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 12, n. 4, p. 367–397, 2020.

BEBBINGTON, T. **50000 teu vessel**. Disponível em: <https://maritime-executive.com/editorials/50000-teu-the-future-or-not>. Acesso em: 14 out. 2022.

BELFKIH, A.; DUVALLET, C.; SADEG, B. The Internet Of Things For Smart Ports Application To The Port Of Le Havre. **Proceedings of IPaSPort 2017**, n. May, 2017.

BERGQVIST, R.; MONIOS, J. Green Ports in Theory and Practice. Em: **Green Ports: Inland and Seaside Sustainable Transportation Strategies**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 1–17.

BHAGAT RAMESH KUMAR; PATEL JAGDISH; PARMAR DARMENDRA. **Remote rtg (rubber tyre gantry) crane operations on wi-fi technology**. INDIAWIPO,, 2018.

BHARADWAJ, S. G.; VARADARAJAN, P. R.; FAHY, J. Sustainable Competitive Advantage in Service Industries: A Conceptual Model and Research Propositions. **Journal of Marketing**, v. 57, n. 4, p. 83, out. 1993.

BICHOU, K. **Port Operations, Planning and Logistics**. New York: [s.n.].

BICHOU, K.; GRAY, R. A critical review of conventional terminology for classifying seaports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 39, n. 1, p. 75–92, 2005.

BID. **Ecosistema de Innovación en Puertos**: benchmarking internacional y recomendaciones para el desarrollo en America Latina., 2023.

BISSON, P.; STEPHENSON, E. **McKinsey quarterly. Global Forces: an introduction**. New York: [s.n.].

BNDES. **VISÃO 2035: Brasil, país desenvolvido. Agendas setoriais para alcance da meta**. [s.l.: s.n.].

BNDES. **Hub de Projetos: Porto**. Disponível em: <https://hubdeprojetos.bndes.gov.br/pt/setores/Portos>. Acesso em: 17 abr. 2023.

BORGES GARCIA, H. **Teoria de controle moderno**. [s.l.: s.n.].

BOTTI, A. et al. The re-conceptualization of the port supply chain as a smart port service system: The case of the port of salerno. **Systems**, v. 5, n. 2, 2017.

BRASIL. **Lei de Modernização dos Portos nº 8630.**, 1993.

BRASIL. Lei nº 12815, de Junho de 2013. 2013.

BRASIL. **OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: RELATÓRIO NACIONAL VOLUNTÁRIO SOBRE OS**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: www.planalto.gov.br.

BRASIL. **Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde do Trabalho Portuário**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-29-nr-29>. Acesso em: 24 jun. 2023.

BREM, A.; VOIGT, K. I. Integration of market pull and technology push in the corporate front end and innovation management-Insights from the German software industry. **Technovation**, v. 29, n. 5, p. 351–367, maio 2009.

CAHOON, S.; PATEMAN, H.; CHEN, S. Regional port authorities: leading players in innovation networks? n. 27, p. 66–75, 2013.

CALDEIRA DOS SANTOS, M.; PEREIRA, F. H. ESG performance scoring method to support responsible investments in port operations. **Case Studies on Transport Policy**, v. 10, n. 1, p. 664–673, 1 mar. 2022.

CARBONE, V; DE MARINO, M. The changing role of ports in supply-chain management: an empirical analysis. **Maritime Policy & Management**, v. 30, n. 4, 2003.

CARVALHO, A.; URBINA, L. M. **TECHNOLOGICAL ROADMAPPING AND ROADMAP: A PRACTICAL PROPOSITION FOR SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL INSTITUTIONS**. São Paulo: [s.n.].

CASTORENA, D. G.; RIVERA, G. R.; GONZÁLEZ, A. V. Technological foresight model for the identification of business opportunities. **Foresight**, v. 15, n. 6, p. 492–516, 2013.

CASTRO, C. M. **A Prática da Pesquisa**. 2a. ed. São Paulo: [s.n.].

CENEP. **Fundação Centro de Excelência Portuária de Santos**. Disponível em: <https://cenepsantos.com.br/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

CHAKA, C. Skills, competencies and literacies attributed to 4IR/Industry 4.0: Scoping review. **IFLA Journal**, v. 46, n. 4, p. 369–399, 1 dez. 2020.

CHEN, J. et al. Constructing governance framework of a green and smart port. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 7, n. 4, 2019.

CHU, F. et al. **The future of automated ports The challenges are significant, but careful planning and implementation can surmount them.** [s.l: s.n.].

COATES, V. On the Future of Technological Foresight. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 67, p. 1–17, 2001.

COATES, V. et al. On the Future of Technological Forecasting. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 67, n. 1, p. 1–17, maio 2001.

COELHO, G. M.; COELHO, D. M. **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais.** Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/356002142>.

COHEN, W.; LEVINTHAL, D. Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. **Administrative science quarterly**, p. 128–152, 1990.

CONTO, S. M. DE; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V.; VACCARO, G. L. R. A Inovação como Fator de Vantagem Competitiva: Estudo de uma Cooperativa Produtora de Suco e Vinho Orgânicos. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 2, p. 397–407, 17 maio 2016.

COTET, G. B.; BALGIU, B. A.; ZALESCHI, V.-C. **Assessment procedure for the soft skills requested by Industry 4.0.** [s.l: s.n.].

CRA/SP. **Grupo de Excelência em Processo Prospectivo e Construção de Cenários - GEPC.** Disponível em: <https://www.crasp.gov.br/centro/site/grupos-de-excelencia/processo-prospectivo-e-construcao-de-cenarios#:~:text=Processo%20Prospectivo%20%C3%A9%20a%20antecipa%C3%A7%C3%A3o,utilizar%20t%C3%A9cnicas%20e%20m%C3%A9todos%20pedag%C3%B3gicos%2C>. Acesso em: 13 out. 2022.

CRISTIANO, C.; PRODANOV, E. C. DE F. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo: 2013, 2013.

CUHLS, K.; GRUPP, H. **Abordagens Prospectivas Nacionais.** Brasília: [s.n.].

D'AMICO, G. et al. Smart and sustainable logistics of Port cities: A framework for comprehending enabling factors, domains and goals. **Sustainable Cities and Society**, v. 69, n. February, 2021.

DAVIS, N. **What is the Fourth Industrial Revolution?** GeneveWorld Economic Forum,, 2016. Disponível em: <https://agenda.weforum.org/2015/12/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

DE LA PEÑA ZARZUELO, I.; FREIRE SOEANE, M. J.; LÓPEZ BERMÚDEZ, B. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 20, n. February, p. 100173, 2020a.

DE LA PEÑA ZARZUELO, I.; FREIRE SOEANE, M. J.; LÓPEZ BERMÚDEZ, B. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 20, n. September, p. 100173, 2020b.

DE LANGEN, P. et al. Innovation Ecosystems in Ports: a comparative analysis of two European ports. **IAME, 2019**, 2019.

DELOITTE. **Global Port Trends 2030: the future port landscape.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/nl/Documents/consumer-business/deloitte-nl-cb-global-port-trends-2030.pdf>.

DELOITTE. **ESG in the Shipping sector The role of ESG in the evaluation of shipping companies.** [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/gr/Documents/consumer-business/gr_esg_in_the_shipping_sector_noexp.pdf. Acesso em: 9 jun. 2023.

DELOITTE, P. S. **Deloitte Port Services - Smart Ports.** [s.l: s.n.].

DELOITTE, P. S. **Deloitte Port Services - Smart Ports.** [s.l: s.n.].

DEMMING, W. **The Aim of Leadership.** Disponível em: <https://deming.org/quotes/2565/>. Acesso em: 5 jun. 2022.

DÍAZ-BONILLA, E. et al. Better To Be Foresighted Than Myopic : a Foresight Framework for Agriculture, Food Security, and R & D in Latin America and the Caribbean . n. January, p. 1–194, 2013.

DOCHERTY, M. Open Innovation”: Principles and Practice. **Visions**, v. 30, n. 2, p. 13–15, 2006.

DURAN, C. A. et al. Boosting the Decision-Making in Smart Ports by Using Blockchain. **IEEE Access**, v. 9, p. 128055–128068, 2021.

EL SAKTY, K. G. Logistics Road map for Smart SeaPorts. **Renewable Energy and Sustainable Development**, v. 2, n. 2, p. 91–95, 30 jun. 2016.

EMPRESA DE PLANEJAMENTO E LOGÍSTICA, E. **Plano Nacional de Logística-PNL Perspectivas tecnológicas para Cenários de Transportes.** [s.l: s.n.].

EPL. **Plano Nacional de Logística-PNL Perspectivas tecnológicas para Cenários de Transportes.** [s.l: s.n.].

ERBOZ, G. How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0. **Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era**, n. November 2017, p. 761–767, 2017a.

ERBOZ, G. How to Define Industry 4.0: The Main Pillars of Industry 4.0. **Managerial Trends in the Development of Enterprises in Globalization Era**, n. November 2017, p. 761–767, 2017b.

ETZKOWITZ, H. **The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action.** 1a. ed. Newcastle: [s.n.].

EUZEBIO, A. **Smartports (3a. Parte) - Seminário: Fundamentos de Logística, Infraestrutura e Ambiente Portuário.** Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=q42zg6tsUmw&t=1594s&ab_channel=Funda%C3%A7%C3%A3oCENEP. Acesso em: 9 out. 2022.

EUZEBIO, A. et al. **FRAMEWORK PARA A IMPLANTAÇÃO DE SMARTPORTS. UMA ABORDAGEM ESTRATÉGICA DA TEORIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.** (UNIVALI, Ed.)33 ENANGRAD. **Anais...ITAJAÍ:** 2022. Disponível em: <https://doity.com.br/anais/33enangrad/trabalho/245505>. Acesso em: 9 jun. 2023

EXECUTIVE, T. M. **Singapore MPA unveils smart port initiatives.** Disponível em: <http://www.maritime-executive.com/article/singapore-mpa-unveils-smart-port-initiatives>. Acesso em: 9 fev. 2015.

FALCONER, G.; MITCHELL, S. Smart City Framework: A Systematic Process for Enabling Smart+Connected Communities. ... **/web/about/ac79/docs/ps/motm/Smart-City-Framework.** ..., n. September, 2012.

FERMINO, G. C. Portos inteligentes, cidades sustentáveis e seus indicadores. **III Congresso Internacional de Desempenho Portuário - CIDESPORT**, p. 1–20, 2016.

FERNANDES, D. R. Uma Visão Sobre a Análise da Matriz SWOT como Ferramenta para Elaboração da Estratégia. **UNOPAR Cient**, v. 13, n. 2, p. 57–68, 2012.

FERNANDEZ CARA, E.; ZUAZUA, E. Control theory history, mathematical achievements and perspectives. **Bol. Soc. Esp. Mat. Apl.** n o, v. 26, p. 79–140, 2003.

FERNÁNDEZ-CARA, E.; ZUAZUA, E. **Control theory:** History, mathematical achievements and perspectives ***Bol. Soc. Esp. Mat. Apl.** n o. [s.l: s.n.].

FILIPPIN, F. **Estado e desenvolvimento: a indústria de semicondutores no Brasil.** rio de Janeiro: [s.n.].

FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. **Logística empresarial: A Perspectiva brasileira**. São Paulo: [s.n.].

FRANCO, W. F.; INDÚSTRIA, C. D. A. TECNOLOGIAS EM PROCESSOS INDUSTRIAIS NO. 2020.

FRIESNER, T. **History of SWOT Analysis**. Disponível em: http://www.marketingteacher.com/SWOT/history_of_swot.htm. Acesso em: 22 out. 2021.

FUNDACIÓN VALENCIAPORT. **MANUAL SMART PORTS STRATEGY AND ROADMAP**. [s.l: s.n.].

GALVIN, ROBERT. Science roadmaps. **Science**, v. 280, n. 5365, p. 803, 1998.

GARCIA, M. L.; BRAY, O. H. Fundamentals of technology roadmapping. **Sandia National Laboratories**, 1997.

GIL, À. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 6ª ed. [s.l: s.n.].

GILCHRIST, A. Industry 4.0 The Industrial Internet of Things. Em: APRESS (Ed.). [s.l.] Library of Congress, 2016.

GODET, M.; DURANCE, P. **A Prospectiva Estratégica para as Empresas e os Territórios**. Paris: UNESCO, 2011.

GODET, M.; ROUBELAT, F. Creating the Future: The Use and Misuse of Scenarios. **Range Planning**, v. 29, n. 3, 1996.

GONÇALVES, A. L. **Prefeitura de Santos defende criação de ZPEs em retroárea portuária**. Disponível em: santos.gov.br. Acesso em: 7 jun. 2023.

GONZÁLEZ-CANCELAS et al. Using the SWOT Methodology to Know the Scope of the Digitalization of the Spanish Ports. **Logistics**, v. 4, n. 3, 2020.

GRISHAM, T. The Delphi technique: a method for testing complex and multifaceted topics. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 2, n. 1, p. 112–130, 23 jan. 2009.

GROENVELD, P. Roadmapping integrates business and technology. **Research Technology Management**, v. 40, n. 5, p. 48, 1997.

GROENVELD, P. Roadmapping integrates business and technology. **Technol.Manag**, v. 50, n. 6, p. 49–58, 2007.

GRUMBACH, R. J. S. **Cenários Prospectivos: – A Chave para o Futuro: Planejamento Estratégico**. Rio de Janeiro: Catau, 1997.

HABEGGER, B. Strategic foresight in public policy: reviewing the experiences of the UK Singapore, and The Netherlands. **Futures**, v. 42, n. 1, p. 49–58, 2010.

HADDAD, C. **Foresight e Sistemas de Inovação: Aplicação de TR Sistêmicos em Três Setores Industriais**. Tese—Florianópolis: UFSC, 2016.

HEIKKILÄ, M.; SAARNI, J.; SAURAMA, A. Four Scenarios for Future Smart Ports. **SSRN Electronic Journal**, p. 1–26, 2022.

HITACHI LAB. **A People-centric Super-smart Society 5.0**. Singapore: Springer Singapore, 2020.

HPA, H. P. A. <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>. Disponível em: <https://www.hamburg-port-authority.de/en/hpa-360/smartport/>. Acesso em: 9 out. 2016.

HYGINO, C. B. et al. **Implicações didáticas de história da ciência no ensino de Física: uma revisão de literatura através da análise textual discursiva**. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, 23 out. 2015.

ILOS. **Custos Logísticos no Brasil**. São Paulo: [s.n.].

INPI. **Mapeamento de Patentes Depositadas no Brasil sobre Tecnologias Relacionadas à Produção de Hidrogênio, com Enfoque em Hidrogênio Verde**. [s.l.: s.n.].

IRIS, Ç.; LAM, J. S. L. A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, n. April 2018, p. 170–182, 2019.

JANG, Y. **Method of operating a ship**. KOREA, 2019.

JANISSEK-MUNIZ, R. **Fatores Críticos em Projetos de Inteligência Estratégica Antecipativa e Coletiva**. (IFBAE, Ed.) CONGRESSO INSTITUTO FRANCO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS. **Anais...** Gramado: Anais, 2015.

JHA SOMESH; RAJ PIYUSH. **System and method for voyage consumption optimization**. KOREA, 2023.

KALISZEWSKI, A. Fifth and Sixth Generation Ports (5Gp, 6Gp) – Evolution of Economic and Social Roles. **ResearchGate**, n. April, p. 32, 2018.

KARLOS, K.; OLIVEIRA, S. **Habilitadores da transformação digital em direção à Educação 4.0**. [s.l.: s.n.].

KIM, S.; KANG, D.; DINWOODIE, J. Competitiveness in a Multipolar Port System: Striving for Regional Gateway Status in Northeast Asia. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, 2016.

KIPPER, L. M. et al. Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. **Technology in Society**, v. 64, 1 fev. 2021.

KWON, E.; PARK, Y.; SIK RYU, J. **Integrated security network system having reinforced cyber security in smartship**. KOREA, 2020.

LEE, J. H.; KIM, H.; PHAAL, ROBERT. An analysis of factors improving technology roadmap credibility: A communications theory assessment of roadmapping processes. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 2, p. 263–280, 2012.

LEE, J. H.; PHAAL, R.; LEE, S. H. An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 80, n. 2, p. 286–306, fev. 2013.

LEMONS, D.; CÁRIO, S. A. **A Evolução das Políticas de Ciência e Tecnologia no Brasil e a Incorporação da Inovação**. [s.l.: s.n.].

LEVINSON, M. **The Box: How the Shipping Contêiner Made the World Smaller and the World Economy**. New Jersey: [s.n.].

LI YANG et al. **Ship-shore integrated equipment state monitoring system and method**. CHINA, 2022.

LINDIČ, J.; DA SILVA, C. M. Value proposition as a catalyst for a customer focused innovation. **Management Decision**, v. 49, n. 10, p. 1694–1708, 2011.

LLOYD ’; LLOYDSREGISTER, @LR_MARINE /. **Global Marine Technology Trends 2030**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: www.0427.co.uk.

LOPEZ, J. M. **Os custos logísticos do comércio exterior brasileiro**. 1a. ed. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

LU, H. P.; CHEN, C. S.; YU, H. Technology roadmap for building a smart city: An exploring study on methodology. **Future Generation Computer Systems**, v. 97, p. 727–742, 1 ago. 2019.

MAGELLAN, C. **Port of the Future Road Map 2030**. 2020.

MAGRUK, A. Analysis of uncertainties and levels of foreknowledge in relation to major features of emerging technologies —the context of foresight research for the fourth industrial revolution. **Sustainability Switzerland**, v. 13, n. 17, 1 set. 2021.

MAIA, D. C. et al. A inovação tecnológica atrelada ao estímulo sustentável: uma análise no Centro Tecnológico do Porto Digital em Pernambuco - Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e104101219666, 14 set. 2021.

MARCIAL, E. C. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. p. 1–13, 2019.

MARCONI, E. M.; LAKATOS, M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. São Paulo: 2013, 2013.

MARINHA DO BRASIL. **Normas da autoridade marítima para implantação e operação de sistemas para determinação de folga dinâmica abaixo da quilha**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br.dpc/files/Normam-33_0.pdf. Acesso em: 28 out. 2022.

MARQUES, J. L.; CAVALCANTI, A. M.; DA SILVA, A. M. A evolução dos núcleos de inovação tecnológica no Brasil no período de 2006 a 2016. **Exacta**, v. 19, n. 1, p. 210–224, 25 mar. 2021.

MCKINSEY. **EXECUTIVE SUMMARY SMART CITIES: DIGITAL SOLUTIONS FOR A MORE LIVABLE FUTURE**. [s.l: s.n.].

MCKINSEY, & C. et al. **The Future of Automated Ports** McKinsey & Company. Chicago: [s.n.]. Disponível em: [https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Travel Transport and Logistics/Our Insights/The future of automated ports/The-future-of-automated-ports-vF.ashx](https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Travel%20Transport%20and%20Logistics/Our%20Insights/The%20future%20of%20automated%20ports/The-future-of-automated-ports-vF.ashx).

MCLEAN, M. **Apparatus for shipping freight**. United States, 1954.

MCTI. **INDICADORES NACIONAIS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/indicadores>.

MEDPORTS. **Action Plan towards the SMART PORT Concept in the Mediterranean Area**. Seville: [s.n.].

MENDES, B. D. S. et al. **Gestão do Conhecimento e Indústria 4.0: Competências Requeridas aos Profissionais Inseridos neste Contexto**. 2020.

MICHAEL PORTER. **The Competitive Advantage**. New York: Free Press, 1985.

MILLER, F. P.; VANDOME, A. F.; MCBREWSTER, J. **Kondratiev Wave**. 1. ed. [s.l: s.n.]. v. 1

MITCHELL, V. Using Delphi to Forecast in New Technology Industries. **Marketing Intelligence & Planning**, v. 10, n. 2, p. 4–9, 1 fev. 1992.

MOLAVI, A.; LIM, G. J.; RACE, B. A framework for building a smart port and smart port index. **International Journal of Sustainable Transportation**, v. 14, p. 686–700, 2020.

MONIÉ, F. Globalização, modernização do sistema portuário e relações cidade/porto no Brasil. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 299–330, 2011.

MONIÉ, F.; VIDAL, S. M. DO S. C. Cidades, portos e cidades portuárias na era da integração produtiva. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 6, p. 975–995, 2006.

MORAES; GALIAZZI. **Análise textual discursiva**. IjuíUnijuí,, 2011.

MOTYL, B. et al. How will Change the Future Engineers' Skills in the Industry 4.0 Framework? A Questionnaire Survey. **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 1501–1509, 1 jan. 2017.

MUNHOZ, D. **Economia Aplicada: Técnicas de Pesquisa e Análise Econômica**. BrasíliaUNB,, 1989.

NANIOPOULOS, A. **WORKPORT**. Macedonia: [s.n.]. Disponível em: <https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/workport.pdf>.

NICOTRA, M.; ROMANO, M.; DEL GIUDICE, M. The evolution dynamic of a cluster knowledge network: the role of firms' absorptive capacity. **Journal of the Knowledge Economy**, n. 5, p. 70–93, 2014.

NOTTEBOOM, T. E.; RODRIGUE, J. P. Port regionalization: Towards a new phase in port development. **Maritime Policy and Management**, v. 32, n. 3, p. 297–313, jul. 2005.

NOTTEBOOM, T.; YAP, W. Y. Port Competition and Competitiveness. 2012.

OCDE. **Manual de Oslo: Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica**. 3. ed. Geneve: OCDE, 2005.

OCDE. **Meeting of the OECD Council at Ministerial Level**. Paris: [s.n.]. Disponível em: <https://www.oecd.org/about/secretary-general/MCM-2014-Strategic-Orientations-SG.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2022.

OCDE. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**. [s.l.] OECD, 2018. v. 4 Ed.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de controle moderno**. 5a. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

OGATA, KATSUHIKO. **Engenharia de controle moderno**. [s.l.] Pearson Prentice Hall, 2011.

OPERAÇÕES, I. D. E.; EM, P. Indústria 4.0 -análise de operações portuárias em terminais de contêineres. n. November, p. 0–14, 2020.

PATEL. smartcity. p. 9–25, 2019.

PAULAUSKAS, V.; FILINA-DAWIDOWICZ, L.; PAULAUSKAS, D. Ports digitalization level evaluation. **Sensors**, v. 21, n. 18, 2021.

PETER DRUCKER. **Desafios Gerenciais para o Século XXI**. São Paulo: Pioneira, 1989.

PHAAL, R.; FARRUKH, C.; PROBERT, D. Technology roadmapping - A planning framework for evolution and revolution. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 71, n. 1–2, p. 5–26, 2004.

PHAAL, R.; PROBERT, D. R.; FARRUKH, C. J. P. **Characterization of technology roadmaps: purpose and format**. Portland International Conference. **Anais...**Portland: Management of Engineering and Technology, 2001.

PHILIPP, R. Blockchain for LBG Maritime Energy Contracting and Value Chain Management: A Green Shipping Business Model for Seaports. **Environmental and Climate Technologies**, v. 24, n. 3, p. 329–349, 2020.

PINTO, J. R. C. **Tecnologias da Automação na Indústrias 4.0**. 1ª ed. Lisboa: [s.n.].

POPPER ET AL. **The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice**. Massachusetts: Edward Elgar Publishing, 2008.

PORT, F. V. **Fundación Valenciaport**. Disponível em: <https://www.valenciaport.com/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

PORTER, M. **The Competitiveness Advantage of Nations**. New York: Free Press, 1989.

PORTER, M. What is estrategia? **Harvard Business Review**, 1996.

PROBERT, D.; RADNOR, M. Frontier Experiences from industry-academia consortia. **Industrial Research Institute**, v. 46, n. 2, p. 27–30, mar. 2003.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute Inc, 2017.

RADU, L. D. Disruptive technologies in smart cities: A survey on current trends and challenges. **Smart Cities**, v. 3, n. 3, p. 1022–1038, 2020.

RIBEIRO, A.; AMARAL, A.; BARROS, T. **Project Manager Competencies in the context of the Industry 4.0**. Procedia Computer Science. **Anais...**Elsevier B.V., 2021.

RIBEIRO, N. **Prospecção Tecnológica**. V.1 ed. Salvador: IFBA, 2018a.

RIBEIRO, N. **Prospecção Tecnológica**. Salvador: IFBA, 2018b. v. 1

RIBEIRO, N. M. et al. **Prospecção Tecnológica**. Salvador: PROFNIT, 2019. v. 2

ROBINSON, R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm. **Maritime Policy and Management**, v. 29, 2002.

ROITMAN, T.; SILVA, T. B. Concorrência interenergética e intermodal no setor de transportes: possibilidades para o Brasil. p. 15–23, 2018.

ROMANO VILLA, F. et al. **PI dados & fatos: Cidades Inteligentes**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/propriedade-intelectual/arquivos-1/estudo-nipi_cidades-inteligentes.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.

ROWLEY DALE JOHANNES MATTHEW S SEMINARA GARY NETT et al. **Systems and methods for automated operation and handling of autonomous trucks and trailers hauled thereby**. USA, 2022.

RUSSO, S. L. et al. **REDE NIT NE Textos de Referência em Inovação Tecnológica & Empreendedorismo**. [s.l.: s.n.].

SADIQ, M. et al. Future Greener Seaports: A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures. **IEEE Access**, v. 9, p. 75568–75587, 2021a.

SADIQ, M. et al. **Future Greener Seaports: A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures**. **IEEE Access** Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.,, 2021b.

SALIBA SLEMAN et al. **System and method for controlling at least two automated non-passing rail mounted gantry cranes**. USAWIPO,, 2014.

SANTOS, P. M. DE. **DECRETO Nº 5261 DE 14 DE JANEIRO DE 2009**. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/santos/decreto/2009/527/5261/decreto-n-5261-2009-aprova-o-estatuto-social-da-fundacao-centro-de-excelencia-portuaria-cenep-santos>. Acesso em: 27 ago. 2022.

SARITAS, O.; BURMAOGLU, S. The evolution of the use of Foresight methods: a scientometric analysis of global FTA research output. **Scientometrics**, v. 105, n. 1, p. 497–508, 2015.

SCHREIBER, D. et al. Análise comparativa do processo de inovação em portos brasileiros de gestão pública e privada. **FACCAT**, v. 19, n. 2, 2022.

SCHUMPETER, J. A. **TEORIA DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**. Cambridge: Duncker & Humblot, 1934.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. [s.l.: s.n.].

SENAI - ES. **Revoluções Industriais**. Disponível em: <https://m.facebook.com/SenaiES/photos/a.323372341093415/2179732438790720/>. Acesso em: 17 out. 2022.

SHAHEEN, A.; HAHMOUD, H.; EI-ALL, A. The Competitive Advantage of Seaports and Applied to the Est Port said -port said. **International Journal of Research in Applied**, 2014.

SILVA, D. O. DA; BAGNO, R. B.; SALERNO, M. S. Modelos para a gestão da inovação: revisão e análise da literatura. **Production**, v. 24, n. 2, p. 477–490, 3 set. 2013.

SILVA, G. M.; QUINTELLA, C. M. **PROFNIT, Metodologia da pesquisa científico-tecnológica e inovação**. Salvador: 2021, 2021.

SILVA, J. **Cenários Prospectivos: o caso da fruticultura dos Campos de Cima da Serra**. Caxias do Sul: UCS, 2009.

SILVA, M. DE F.; JUNQUEIRA, L. A. P.; CARDOSO, O. Inovação e a Teoria Institucional. **Gestão.Org**, v. 14, n. 1, p. 106–114, 1 out. 2016.

SINGAPORE, M. **Singapore R&D Roadmap 2030. Maritime Transformation**. Singapore: [s.n.].

SKULMOSKI, G. J.; HARTMAN, F. T.; KRAHN, J. The Delphi method for graduate re-search. **Inf. Technol. Educ**, v. 6, p. 1–21, 2007.

SOUZA, T. A. et al. **SIPOC-OI: a proposal for open innovation in supply chains**. **Innovation and Management Review** Emerald Group Holdings Ltd., 2022.

STC GROUP. **STC GROUP**. Disponível em: <https://stc-group.nl/>. Acesso em: 12 jun. 2023.

TAN, K. W. et al. A Framework for Evaluating Energy Sustainability Efforts for Maritime Smart Port Operations. **Proceeding - 2018 International Conference on ICT for Smart Society: Innovation Toward Smart Society and Society 5.0, ICISS 2018**, p. 1–5, 2018.

TEIXEIRA, C. S. **HABITATS DE INOVAÇÃO conceito e prática**. Perse ed. São Paulo: Perse, 2018. v. 1

THOMPSON, W. R. **K-Waves, Technological Clustering, and Some of Its Implications**. Disponível em: https://www.sociostudies.org/almanac/articles/k-waves-_technological_clustering/. Acesso em: 1 abr. 2023.

UNCTAD. Ports Conference. **Ports Newsletter**, n. 19, 1999.

UNCTAD. **UNCTAD**. Disponível em: <https://unctad.org/publications>. Acesso em: 27 ago. 2022.

UNIDO. **UNIDO TECHNOLOGY FORESIGHT MANUAL: Organizations and Methods V.1**. Vienna: [s.n.].

UNIDO. **UNIDO TECHNOLOGY FORESIGHT MANUAL: Technology Foresight in Action V.2.** Vienna: [s.n.].

UNITED NATIONS. **Sustainable Development Goals 2015.** Geneve: [s.n.].
Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 9 jun. 2023.

US MARITIME ADMINISTRATION—MARAD. **What US ports mean to economy?** Washington DC, 1978.

US MARITIME ADMINISTRATION—MARAD. **An Assessment of the US Marine Transportation System, Report to the Congress.** 1999.

VAIDYA, S.; AMBAD, P.; BHOSLE, S. Industry 4.0 - A Glimpse. **Procedia Manufacturing**, v. 20, p. 233–238, 2018.

VAN DORSSER, C.; TANEJA, P. An integrated three-layered foresight framework. **Foresight**, v. 22, n. 2, p. 250–272, 2020.

VÁRIOS COLABORADORES. **Enciclopédia de automática: controle e automação.** 1a. ed. São Paulo: Blucher, 2007. v. 3

VIEDERYTE, R. Organizational and Process Innovations in International Logistics Companies: The Relevance and Expected Benefits. v. 20, n. 3, p. 134–146, 2016.

VIEIRA, J. H.; GILBERTO, O.; MOTA, F. D. S. **MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO PORTUÁRIA E PLANEJAMENTO OPERACIONAL INTEGRADO POR MEIO DE INDICADORES DE DESEMPENHO.** [s.l.: s.n.].

VOROS, J. A Generic Foresight Process Framework. **Foresight**, v. 5, n. 3, p. 10–20, 2003.

WAN, J.; CAI, H.; ZHOU, K. Industrie 4.0: Enabling Technologies. **Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things, ICIT 2015**, p. 135–140, 2015.

WATSON, R. **Top trends now and next.** Disponível em:
<http://toptrends.nowandnext.com>. Acesso em: 10 fev. 2019.

WESSNER, C. W. **Securing the Future: regional and national programs to support the semiconductor industry.** 1. ed. Washington DC: [s.n.].

WINKELMANS, W; NOTTEBOOM, T. **Port master planning: balancing stakeholders' interests'**. 1ª ed. Poland: [s.n.].

WOLFGANG WICHNER. **OPERATING METHOD AND DEVICE FOR OPERATING AUTOMATED CONTÊINER QUAY CRANES.** United StatesUSPTO,, 2005.

WOOD et al. **International Logistics.** New York: [s.n.].

WOODWARD, D.; FIGUEIREDO, O.; GUIMARAES, P. Beyond the Silicon Valley: University R&D and high-technology location. **Journal of Urban Economics**, v. 1, n. 60, p. 15–32, 2006.

WORLD BANK. **Porto Toolkit**. Disponível em: <http://www.worldbank.org/transport>. Acesso em: 27 ago. 2022.

WORLD BANK. **Port Reform Toolkit: Framework for Port Reform M.1**. Washington D.C.: [s.n.].

WORLD BANK. **Port Reform Toolkit**. 1. ed. Washington: World Bank, 2003b. v. 1

WORLD BANK. **The Evolution of Ports in a Competitive World**. Washington: World Bank, 2007.

WORLD ECONOMIC FORUM. White Paper Digital: Transformation of Industries: Logistics. World Economic Forum. **White Paper Digital**, 2016.

WRIGHT, J.; GIOVINAZZO, R. A. DELPHI - uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v. 1, p. 54–65, 2000.

WU, Y. et al. Study on intelligent port under the construction of smart city. **Proceedings of 2013 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2013**, p. 175–179, 2013.

WUNDRACK, R. et al. **VII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação 11 e 12 de setembro de 2017-Foz do Iguaçu/PR INDÚSTRIA 4.0: COMPETÊNCIAS REQUERIDAS AOS PROFISSIONAIS DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL**. [s.l: s.n.].

YU MINGZHU et al. **Automatic contêiner wharf exit box space distribution method**. CHINA, 2022.

ZACKIEWICZ, M.; SALLES-FILHO, S. Technological Foresight: Um Instrumento para a Política Científica e Tecnológica. **Parcerias Tecnológicas**, v. 10, p. 144–161, 2001.

ZANARINI, A.; HENRIKSON, B. **Scheduling work orders between automated stacking cranes**. SWISSEP,, 2014.

ZENG, S. X.; XIE, X. M.; TAM, C. M. Relationship between cooperation networks and innovation performance of SMEs. **Technovation**, v. 3, n. 30, p. 181–194, 2010.

ZHENG, P. et al. Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. **Frontiers of Mechanical Engineering**, v. 13, n. 2, p. 137–150, 2018.

ZOU YING; ZHANG CHUANJIE; XIE ZONGZHE. **Method and system for predicting loading and unloading operation time of bridge crane and container ship, and medium.** CHINA, 2022.