

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE

RENILSON JOSÉ SILVA RESENDE

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NO SETOR PORTUÁRIO: um estudo no setor
portuário brasileiro**

SÃO LUÍS- MA
2023

RENILSON JOSÉ SILVA RESENDE

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NO SETOR PORTUÁRIO: um estudo no setor
portuário brasileiro**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Maranhão como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente, para obtenção do título de mestre.

Aluno: Renilson José Silva Resende

Orientadora: Prof.^a. Dr.^a. Darliane Ribeiro
Cunha

SÃO LUIS-MA

2023

Resende, Renilson José Silva.

TECNOLOGIAS EMERGENTES NO SETOR PORTUÁRIO : um estudo
no setor portuário brasileiro / Renilson José Silva
Resende. - 2023.

71 f.

Orientador(a): Darliane Ribeiro Cunha.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, 2023.

1. Inteligência Artificial. 2. Internet das Coisas.
3. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. 4. Portos.
5. Relatórios de sustentabilidade. I. Cunha, Darliane
Ribeiro. II. Título.

RENILSON JOSÉ SILVA RESENDE

**TECNOLOGIAS EMERGENTES NO SETOR PORTUÁRIO: um estudo no setor
portuário brasileiro**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Maranhão como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente, para obtenção do título de mestre.

Aprovado em ____/____/____

Banca examinadora

Profa. Dra. Darliane Ribeiro Cunha (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Prof. Dr Marcelo de Santana Porte
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Prof. Dr. Clóvis Bôsko Mendonça Oliveira
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

AGRADECIMENTOS

É com imensa gratidão que concluo esta jornada de mestrado, e não posso expressar o quão essencial foi o apoio e contribuição de cada um de vocês ao longo desse caminho desafiador, porém recompensador.

Primeiramente, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha esposa. O amor, encorajamento e compreensão que ela me ofereceu foram a base essencial para eu seguir em frente nos momentos mais desafiadores. Seu apoio incondicional foi a força motriz por trás da minha conquista.

Agradeço profundamente aos meus orientadores e professores, cuja orientação, sabedoria e dedicação foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Suas contribuições valiosas, insights e paciência foram cruciais para o desenvolvimento desta dissertação. Estou imensamente grato por toda a orientação acadêmica e encorajamento ao longo deste processo.

Gostaria também de estender minha gratidão a todos os que, de alguma forma, contribuíram, mesmo que indiretamente, para o sucesso deste trabalho. Cada conversa, conselho e recurso compartilhado que foram inestimáveis para o progresso desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos aqueles que acreditaram em mim. Este momento não teria sido possível sem o apoio e estímulo de todos vocês.

Meu mais profundo agradecimento por fazerem parte desta jornada. Vocês são parte integrante deste marco em minha vida acadêmica e pessoal.

RESUMO

Nos últimos anos, a indústria portuária enfrentou crescentes desafios relacionados à sua sustentabilidade, à medida que a demanda por transporte marítimo na economia global continuou a crescer. Para lidar com esses desafios, os portos têm adotado tecnologias emergentes para melhorar sua eficiência, segurança e sustentabilidade. Os resultados da revisão bibliométrica revelaram que a Internet das Coisas tem sido uma das tecnologias mais abordadas. A Internet das Coisas serve como base para outras tecnologias, como inteligência artificial e sistemas autônomos, que estão sendo aplicados nos portos para automatizar processos e aprimorar tomadas de decisão. Países com uma tradição consolidada em transporte marítimo, como Alemanha, China, Espanha, Estados Unidos, Grécia e Holanda lideraram em pesquisa e desenvolvimento na área. A inteligência artificial e sistemas autônomos têm o potencial de reduzir emissões de poluentes e otimizar o uso de recursos energéticos, contribuindo para a sustentabilidade. Além disso, tecnologias de monitoramento em tempo real auxiliam na identificação e mitigação de riscos ambientais, promovendo operações portuárias mais seguras e sustentáveis. No contexto brasileiro, a demanda crescente por transporte marítimo tem incentivado a adoção de tecnologias emergentes nos principais portos. Tecnologias como radar, data lake, telemetria e realidade aumentada estão sendo aplicadas para melhorar a eficiência, qualidade e sustentabilidade das operações portuárias. Empresas líderes, como Vale, Transpetro, Amaggi e Mineração Rio do Norte, estão na vanguarda da adoção de tecnologias emergentes devido ao seu compromisso com a inovação e a responsabilidade socioambiental. No geral, as tecnologias emergentes estão impulsionando melhorias substanciais nas operações portuárias, refletindo um compromisso com a inovação e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que preparam o cenário para a adoção de tecnologias ainda mais avançadas. Como limitação no estudo, identificou-se que os relatórios não distinguem tecnologias aplicadas exclusivamente na logística portuárias e foi identificado as seguintes oportunidades futuras de pesquisa: avaliar o impacto real das tecnologias emergentes na eficiência, segurança e sustentabilidade das operações portuárias brasileiras, investigar como as tecnologias mencionadas estão sendo adotadas por portos de menor porte no Brasil, entender como as várias tecnologias mencionadas estão sendo integradas e coordenadas nos portos brasileiros, investigar como essas tecnologias estão afetando a sustentabilidade a

longo prazo dos portos brasileiros, realizar uma comparação entre a adoção de tecnologia nos portos e em outros setores de transporte no Brasil, analisar como as políticas públicas incentivam ou dificultam a adoção de tecnologia nos portos brasileiros, explorar como as inovações tecnológicas nos portos estão afetando as comunidades locais em termos de empregos, meio ambiente e qualidade de vida, investigar a cibersegurança nos portos brasileiros, analisar como os trabalhadores portuários estão sendo treinados e capacitados para usá-las efetivamente e realizar uma comparação entre as inovações tecnológicas nos portos brasileiros e em portos de outros países. Nessa oportunidade, este trabalho traz o contato do autor com as tecnologias estudadas no seu contexto profissional da empresa Vale, pois esse contato trouxe uma visão real dessa temática na sustentabilidade.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Internet das Coisas; Objetivos do Desenvolvimento Sustentável; Portos; Relatórios de sustentabilidade; Setor portuário brasileiro; Sistemas Autônomos; Sustentabilidade; Tecnologias Emergentes.

ABSTRACT

In recent years, the port industry has faced escalating challenges regarding its sustainability, as the demand for maritime transportation in the global economy has continued to grow. To address these challenges, ports have been adopting emerging technologies to enhance their efficiency, safety, and sustainability. The results of the bibliometric review revealed that the Internet of Things (IoT) has been one of the most addressed technologies. IoT serves as the foundation for other technologies, such as artificial intelligence and autonomous systems, being applied in ports to automate processes and improve decision-making. Countries with established traditions in maritime transportation, such as Germany, China, Spain, the United States, Greece, and the Netherlands, have led research and development in this field. Artificial intelligence and autonomous systems have the potential to reduce pollutant emissions and optimize the use of energy resources, contributing to sustainability. Additionally, real-time monitoring technologies assist in identifying and mitigating environmental risks, promoting safer and more sustainable port operations. In the Brazilian context, the increasing demand for maritime transportation has encouraged the adoption of emerging technologies in major ports. Technologies like radar, data lakes, telemetry, and augmented reality are being applied to enhance the efficiency, quality, and sustainability of port operations. Leading companies such as Vale, Transpetro, Amaggi, and Mineração Rio do Norte are at the forefront of adopting emerging technologies due to their commitment to innovation and socio-environmental responsibility. Overall, emerging technologies are driving substantial improvements in port operations, reflecting a commitment to innovation and sustainability while paving the way for the adoption of even more advanced technologies. As a limitation in the study, it was identified that the reports do not distinguish technologies exclusively applied in port logistics. The following future research opportunities were identified: evaluating the real impact of emerging technologies on the efficiency, safety, and sustainability of Brazilian port operations; investigating how mentioned technologies are being adopted by smaller ports in Brazil; understanding how various mentioned technologies are being integrated and coordinated in Brazilian ports; exploring the long-term sustainability effects of these technologies on Brazilian ports; conducting a comparison between technology adoption in ports and other transportation sectors in Brazil; analyzing how public policies encourage or hinder technology adoption in

Brazilian ports; exploring how technological innovations in ports are affecting local communities in terms of employment, environment, and quality of life; investigating cybersecurity in Brazilian ports; analyzing how port workers are being trained and empowered to effectively use these technologies, and conducting a comparison between technological innovations in Brazilian ports and ports in other countries. This work presents the author's firsthand experience with the studied technologies in the professional context at Vale, providing a real-world perspective on this sustainability-related theme.

Keywords: Internet of Things; Sustainable Development Goals; Ports; Sustainability reports; Brazilian port sector; Autonomous Systems; Sustainability; Emerging Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Identificação dos estudos sobre tecnologias emergentes no setor portuário	26
Figura 2 - Palavras utilizadas na análise dos relatórios	28
Figura 3 - Evolução dos estudos	32
Figura 4 - Evolução dos estudos por tecnologias de 2012 a 2022	33
Figura 5 - Relação entre as tecnologias emergentes	35
Figura 6 - Análise das palavras-chaves	36
Figura 7 - Países dos portos estudados nos artigos analisados	40
Figura 8 - Rede de tecnologias	41
Figura 9 - Rank das tecnologias.....	43
Figura 10 - Temáticas ligadas as câmeras.....	45
Figura 11 - Temáticas ligadas aos radares	47
Figura 12 - Temáticas ligadas aos satélites	50
Figura 13 - Rank das empresas na aplicação das tecnologias	52
Figura 14 - Arquitetura do centro de monitoramento de ativos	54
Figura 15 - Evolução da saúde da frota de materiais rodantes	55
Figura 16 - Dispositivos habilitadores da operação remota do carregador de navios	56
Figura 17 - Sala de controle remoto	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População de estudo.....	28
Tabela 2 - Amostra do estudo	30
Tabela 3 - Tecnologias emergentes	35
Tabela 4 - Rank das palavras-chave	37
Tabela 5 - Temáticas ligadas as câmeras	45
Tabela 6 - Temáticas ligadas aos radares	48
Tabela 7 - Temáticas ligadas aos satélites	50

LISTA DE SIGLAS

AGV	Veículos Guiado Automaticamente
ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviário
CASNAV	Centro de Análises de Sistemas Navais
CITRA	Console de Imagens Táticas com Realidade Aumentada
ERP	Planejamento de Recursos Empresariais
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IA	Inteligência Artificial
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECD	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCDM	Sistema Comunitário Portuário
PDZ	Plano de Desenvolvimento e Zoneamento
RA	Relatórios Anuais
RAILBAM	Monitor Acústico de Rolamento Ferroviário
RI	Relatos Integrados
RS	Relatórios de Sustentabilidade
TBOGI	Geometria Óptica do Truque de Equipamentos Ferroviários
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UN	Nações Unidas
VTs	Serviço de Tráfego de Embarcações
WCM	Monitor de Condição de Roda
WIPO	Organização Mundial da Propriedade Intelectual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Setor portuário brasileiro	17
2.2	Tecnologias emergentes no setor portuário e sustentabilidade	20
2.3	Setor ferroviário brasileiro e sustentabilidade	24
3	METODOLOGIA	26
4	RESULTADOS.....	32
4.1	Tecnologias emergentes na literatura do setor portuário	32
4.2	Tecnologias emergentes e o setor portuário brasileiro.....	40
5	APLICAÇÃO PRÁTICA NOS PROCESSOS DA VALE	53
5.1	Aplicação nas operações ferroviárias	53
5.2	Aplicação no terminal portuário de ponta da madeira.....	56
6	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICE A - Estudos de caso	68

1 INTRODUÇÃO

Os portos representam as ligações fundamentais nas rotas globais de abastecimento, proporcionando crescimento para as cidades onde estão instalados (Lacalle et al., 2019). No entanto, o crescimento do transporte marítimo na economia global tem imposto desafios significativos à sustentabilidade dos portos. Na dimensão ambiental, destaca-se a capacidade de reduzir suas emissões de carbono e tornar-se mais atento às considerações relacionadas a essa dimensão (McGinley, 2014), na dimensão social, destaca-se a influência que os portos podem ter nas comunidades ao seu redor (Batalha et al., 2020 e Batalha et al., 2023), enquanto a dimensão econômica está intimamente ligada à eficiência energética (Molavi et al., 2019).

A questão energética é uma preocupação importante para a sustentabilidade portuária, uma vez que o consumo de energia aumenta e os custos energéticos crescem. Os portos e terminais buscam, portanto, melhorar sua eficiência energética para reduzir custos e mitigar as mudanças climáticas (Iris e Lam, 2019).

Na era digital atual, os portos enfrentam uma competição intensa dentro das cadeias de suprimento globais. Os portos inteligentes aplicam tecnologias de informação e comunicação para implementar diversas ferramentas inteligentes, resultando em melhorias significativas na eficiência operacional, entre outros aspectos (Molavi et al., 2019 e Yau et al., 2020). Tais melhorias impulsionam a competitividade e a sustentabilidade das economias nacionais (Yau et al., 2020).

A segurança é uma área crítica com riscos associados a colisões de embarcações e outros incidentes que podem afetar as operações portuárias, portanto, a segurança portuária é uma questão de prioridade (Molavi et al., 2019). Os acidentes que causam vazamentos em navios são um ponto crítico que prejudica o ecossistema marítimo e trazem tensões sobre as atividades socioeconômicas relacionadas às operações desse modal (Abou El-Magd et al., 2020 e Abou El-Magd et al., 2021).

As operações portuárias exercem uma influência significativa sobre o meio ambiente, a infraestrutura urbana e os habitantes locais. Para mitigar esses impactos, os portos do futuro devem adotar ferramentas avançadas de monitoramento e intervenção para gerenciar eficazmente as consequências das operações portuárias (Lacalle et al., 2019).

Diante desse cenário, os portos têm a necessidade prioritária de adotar o progresso tecnológico e se tornarem inteligentes de forma a serem orientados por

dados e obter a capacidade de análise avançada a base de inteligência artificial (Gao et al., 2022). Os avanços recentes em automação industrial e eletrificação mostraram-se relevantes para esse propósito. Portos em escala global buscam inovações tecnológicas para gerenciar de forma ambientalmente sustentável suas operações como por exemplo nos estudos de Zhao et al. (2020) e Tsolakis et al. (2022).

A transição para portos inteligentes e sustentáveis não é apenas uma opção, mas uma estratégia crucial em resposta às demandas complexas e interconectadas da atual conjuntura global. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) lançados pela Organização das Nações Unidas em 2015 fornecem uma base sólida e abrangente para orientar essa transformação. Os ODS buscam a harmonização entre crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental, princípios inerentes ao conceito de sustentabilidade. Todos os ODS têm relevância no contexto portuário (UN, 2015).

O ODS 9, por exemplo, enfatiza a construção de infraestruturas resilientes, a promoção da industrialização inclusiva e sustentável e o estímulo à inovação. Esse objetivo é particularmente importante para a transformação de portos convencionais em portos inteligentes e sustentáveis, estabelecendo um padrão de progresso alinhado com o respeito ao meio ambiente e à sociedade (UN, 2015).

As inovações tecnológicas e digitais emergentes têm o potencial de causar transformações significativas em vários setores, incluindo o portuário, de forma que podem levar a melhorias significativas em eficiência (Cavalli et al., 2021). As tecnologias da Indústria 4.0 têm a capacidade de redefinir os processos operacionais dos portos, otimização da carga, redução do tempo de espera dos navios e aprimoramento da segurança e sustentabilidade do ambiente portuário (Sari e Pamadi, 2019).

Uma combinação de tecnologias pode trazer as plataformas digitais que impulsionam a gestão portuária, trazendo impactos positivos em segurança, produtividade e sustentabilidade, possibilitando as comunicações e análise de todos os dados de forma efetiva, tanto nas operações quanto para todos os agentes envolvidos na cadeia do setor (Dos Ramos Caldeirinha e Nabais, 2021).

As comunidades portuárias podem ser estruturadas através da implementação do avanço das tecnologias da informação e comunicação, tornando a logística portuária mais conectada, fazendo com que todas as partes interessadas consigam tomar decisões mais eficientes. As autoridades portuárias têm um papel fundamental

na implementação dessa estrutura no setor portuário, trazendo ganhos significativos de sustentabilidade para o setor (Tijan et al., 2021).

É importante destacar que a transformação digital dos portos traz uma preocupação relacionada à segurança na utilização das tecnologias da informação e comunicação. Os ataques cibernéticos são outro elemento que entra para a gestão desses processos, e os danos aos processos desse modal, assim como a segurança de todas as partes envolvidas, devem ser levados em consideração, e ações preventivas precisam ser estruturadas para evitar perdas (De Albuquerque et al., 2022).

A aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 nos portos pode ter um impacto significativo na melhoria da sustentabilidade portuária. De acordo com Philipp et al. (2021), a automação pode contribuir para a redução das emissões de gases poluentes e do consumo de energia, enquanto De Moura (2022) observa que as tecnologias emergentes podem melhorar a segurança e a sustentabilidade das operações portuárias. Portanto, para o contexto brasileiro, é preciso mapear em que estado está a implementação dessas tecnologias emergentes e entender as características desse movimento.

Um ponto importante em relação às movimentações de carga nos portos brasileiros trata da forma como as cargas chegam através de outros modais. Pois esse fator influencia em como as estruturas portuárias são afetadas e como isso pode aumentar ou diminuir o estresse para o setor portuário. Em particular, a adoção de ferrovias se mostra uma opção viável que precisa ser fortalecida no transporte de cargas no Brasil (De Souza et al., 2022).

Estudos recentes têm contribuído significativamente para o levantamento abrangente das tecnologias emergentes utilizadas na infraestrutura portuária em escala global. No entanto, essas pesquisas geralmente direcionam seu foco para tecnologias específicas e se restringem a portos particulares. As investigações realizadas por Bayoumi et al. (2020), Lacalle et al. (2020), Zhao et al. (2020) e Pagano et al. (2022) concentraram-se na análise da tecnologia da Internet das Coisas, enquanto Echeverry et al. (2015) e Tsolakis et al. (2022) exploraram as aplicações da inteligência artificial (IA) nos processos operacionais portuários. Adicionalmente, os estudos conduzidos por Ruiz et al. (2012) e McGinley (2014) analisaram a implantação de sistemas autônomos.

No que diz respeito à dimensão geográfica, observa-se uma significativa diversidade no panorama das pesquisas. O estudo de Ruiz et al. (2012) concentrou-se em um porto na Espanha, na mesma região do cenário da Irlanda investigado por McGinley (2014). Nos Estados Unidos, Echeverry et al. (2015) aplicaram suas metodologias através de um módulo conceitual a base de inteligência artificial para classificar grupos de cooperação portuária para a sustentabilidade, enquanto Bayoumi et al. (2020) focaram em portos egípcios. A investigação de Lacalle et al. (2020) ocorreu na Grécia, Zhao et al. (2020) na China e Pagano et al. (2022) na Itália. Esta diversidade geográfica evidencia a adoção heterogênea de tecnologias emergentes em portos, mas também indica a existência de lacunas significativas em regiões como a África e a América Latina.

Tal constatação enfatiza a necessidade de análises mais aprofundadas em regiões menos representadas nos estudos existentes, como é o caso do Brasil. É imperativo compreender o estágio atual de implementação dessas tecnologias no contexto brasileiro, considerando as características específicas e os desafios do setor portuário nacional.

Nesse contexto, **o objetivo deste trabalho é explorar o impacto das tecnologias emergentes na sustentabilidade do setor portuário mundial e brasileiro**. Para alcançar esse objetivo, realizou-se um estudo bibliométrico da literatura e um estudo documental, respectivamente utilizando ferramentas como EndNote, IRaMuTeQ e VOSviewer e Python. O estudo teve como propósito avaliar a extensão e profundidade da aplicação dessas tecnologias no setor portuário mundial e brasileiro, bem como seu potencial para promover a sustentabilidade.

O estudo tem como objetivos específicos: realizar uma revisão bibliométrica da literatura sobre tecnologias emergentes no setor portuário; identificar as principais tecnologias emergentes adotadas pelo setor portuário no mundo; realizar um estudo documental - Relatos Integrados (RI), Relatórios de Sustentabilidade (RS) e Relatórios Anuais (RA) de 44 porto e terminais - sobre as tecnologias implementadas no setor portuário brasileiro; Identificar as principais tecnologias emergentes adotadas pelo setor portuário brasileiro; avaliar os impactos das tecnologias emergentes no setor portuário brasileiro na sustentabilidade; fazer uma breve relação da temática com a logística ferroviária brasileira com o objetivo de conectar com o contato do autor com as tecnologias estudadas na Vale.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Setor portuário brasileiro

A literatura do setor portuário brasileiro revela várias vertentes importantes que merecem atenção para que o setor possa se desenvolver dentro do mercado cada vez mais competitivo e com foco na sustentabilidade. Eficiência das operações, marco regulatório e organização do setor, atuação social, monitoramento, proteção ambiental e tecnologias aplicadas ao setor portuário são temáticas fundamentais para o desenvolvimento desse setor

No que diz respeito à eficiência do setor, temos os estudos de Madeira et al. (2012), Wanke (2013), Casagrande et al. (2019), Garcia et al. (2019), Vargas et al. (2020) e Souza et al. (2022). Madeira et al. (2012) destacam que os serviços portuários são elementos-chave da economia de um país, pois fornecem a infraestrutura necessária para o desenvolvimento da indústria, dos negócios e do comércio internacional. Neste caso, avaliar e melhorar o seu desempenho é essencial para alcançar a competitividade internacional. Com o objetivo de analisar o desempenho de terminais de contêineres baseado em uma metodologia multicritério, demonstraram que os resultados e a metodologia são úteis para apoiar as autoridades portuárias no fornecimento de incentivos para alcançar melhorias na eficiência do setor portuário brasileiro.

Wanke (2013) em seu estudo sobre a eficiência dos portos brasileiros, mediu a eficiência em duas etapas, concluindo que a gestão privada impacta positivamente na eficiência da infraestrutura física, enquanto o tamanho do porto e a operação de diferentes tipos de cargas influenciam positivamente a eficiência dos embarques.

Casagrande et al. (2019) afirmam que o Brasil tem lugar de destaque no comércio internacional de produtos agrícolas, porém sua dependência do modal rodoviário torna sua logística interna ineficiente. É proposta uma solução na qual é aplicada a utilização de portos móveis que necessitam de poucos recursos de construção resultando em diminuição do impacto ambiental, assim como pouca necessidade de manutenção.

Garcia et al. (2019) afirmam que a ineficiência do sistema logístico brasileiro para lidar com o escoamento de produtos agrícolas prejudica o desempenho do setor. Do ponto de vista econômico, as elevadas taxas de frete colocam o setor agrícola do

país em desvantagem competitiva no mercado global. Foi analisada a utilização de rotas hidroviárias para melhorar a eficiência do transporte de produtos agrícolas, visando aprimorar a sustentabilidade do setor por meio da redução de acidentes e emissões de gases do efeito estufa. A utilização das rotas mostrou-se bastante eficiente e pode ajudar a tornar o setor competitivo mundialmente.

Vargas et al. (2020) argumentam que o desempenho portuário se tornou um fator determinante para o desenvolvimento da economia mundial, uma vez que o transporte marítimo é o principal elo da cadeia logística global. Eles analisaram a eficiência dos portos brasileiros. Além disso, destacam que grande parte dos estudos está direcionada para sistemas portuários de contêineres, representando uma oportunidade para os demais tipos de cargas movimentadas. Por sua vez, Souza et al. (2022) também analisaram a competitividade dos portos e terminais de contêineres brasileiros, destacando que a evolução desse setor pode alavancar o setor portuário brasileiro. Uma das grandes restrições está no recebimento de navios de grande porte, limitado pelo calado dos portos.

No que diz respeito ao marco regulatório e à organização do setor, temos os estudos de Jaccoud e Magrini (2014), Cutrim et al. (2018), Dos Santos et al. (2020) e Marques et al. (2021). Jaccoud e Magrini (2014) analisaram o marco regulatório para a gestão de resíduos sólidos e sugeriram iniciativas para melhorar a regulamentação nos portos brasileiros.

Cutrim et al. (2018) analisaram os modelos de governança do setor portuário brasileiro e propuseram uma nova estrutura de governança, aplicando o modelo de corporatização portuária. Essa proposta promoveu várias mudanças estruturais, mantendo e reforçando a Agência Nacional de Transportes Aquaviários e a continuidade do modelo Landlord. Em seguida, mais especificamente, Dos Santos et al. (2020) analisaram a elaboração do Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZ) utilizando a matriz 5W2H e políticas públicas. O método foi aplicado na elaboração do PDZ do Porto do Itaquí e resultou em 77 ações alinhadas aos instrumentos de planejamento, políticas e diretrizes.

Marques et al. (2021) analisaram o papel do estado na promoção da inovação no setor portuário brasileiro por meio de políticas públicas e sua influência no arranjo institucional do setor portuário brasileiro. Foi proposto um processo de inovação no setor portuário brasileiro por meio da integração das autoridades portuárias.

O setor portuário brasileiro tem grande influência no contexto ao seu redor conforme observado nos trabalhos de Batalha et al. (2020) e Batalha et al. (2023). No estudo de Batalha et al. (2020), foi analisado o desempenho social corporativo no setor portuário, destacando a importância dos portos e seus impactos nas sociedades ao redor. Os gestores expressaram a relevância do desempenho social corporativo no âmbito empresarial.

Novamente, Batalha et al. (2023) analisaram o papel social dos portos por meio de entrevistas com 28 gestores do setor portuário brasileiro. Evidenciaram-se vários entendimentos sobre o papel do setor, que vão desde direcionamentos compulsórios até ações voluntárias. Concluíram que é necessário direcionar ações para uma compreensão mais prática dos motivos para a atuação dos papéis sociais dos portos.

O monitoramento e a proteção ambiental são fundamentais para a continuidade das operações portuárias, e, dessa forma, temos os estudos de Roos e Neto (2017) e Padua et al. (2022). Roos e Neto (2017) destacam que o setor portuário brasileiro necessita de grandes aprimoramentos técnicos para melhorar o seu monitoramento ambiental. Eles analisaram as métricas utilizadas nos portos públicos brasileiros na avaliação de seu desempenho ambiental. Foi identificado que os fatores econômicos não estão incluídos na ferramenta de medição. Dessa forma, é sugerido um sistema de medição para preencher essa lacuna.

Padua et al. (2022) afirmam que ao longo dos últimos dois séculos, as zonas costeiras e estuarinas têm sofrido estresse ambiental devido ao acelerado crescimento populacional, levando a uma maior procura, à sobre-exploração, à transformação de habitats e à poluição, o que acarreta consequências graves para o ecossistema global e para a saúde humana. Eles destacaram que as zonas costeiras sofreram grandes transformações decorrentes da industrialização e da construção de portos, e estudaram a dinâmica dessas transformações.

Para a aplicação de tecnologias visando à melhoria da eficiência, destacam-se os estudos de Novaes e Pereira (2018) e Marques e Lobo (2019). Novaes e Pereira (2018) analisaram a utilização de drones no setor portuário brasileiro, comparando experiências do setor portuário internacional. Avaliaram modelos e características de drones que podem ser aplicados no setor portuário brasileiro, concluindo que os drones podem reduzir o tempo em algumas operações de monitoramento em terminais portuários.

Marques e Lobo (2019) destacam que os portos brasileiros movimentaram, em 2019, mais de 90% das exportações do país, o que implica na necessidade de o país ter portos eficientes. Diante disso, eles analisaram o status da aplicação do Vessel Traffic Service (VTS), destacando que sua aplicação não obteve sucesso no setor portuário brasileiro e analisaram alternativas para a sua implementação. Eles ressaltaram que sua implementação contribuiria de forma efetiva para que o Brasil se equipare a grandes referências mundiais.

Por fim, Dominguez et al. (2022) afirmaram que o transporte marítimo representa uma parte significativa do transporte internacional de cargas e que os portos precisam estar em constante desenvolvimento para permanecerem competitivos. Eles analisaram a inteligência dos portos brasileiros, destacando que estes ainda não podem ser considerados inteligentes.

É notória a diversidade e a importância das temáticas para o desenvolvimento do setor portuário brasileiro. No entanto, há a evidência da escassez de estudos voltados para a aplicação das tecnologias emergentes no setor portuário brasileiro que representa uma oportunidade para a literatura atual.

2.2 Tecnologias emergentes no setor portuário e sustentabilidade

Os estudos existentes sobre tecnologias emergentes evidenciam suas aplicações e benefícios em termos de produtividade, segurança, sustentabilidade e eficiência energética (McGinley, 2014; Pedrielli et al., 2020; Aslam et al., 2020; Yau et al., 2020; Bayoumi et al., 2020; Philipp et al., 2021; Remondino e Zanin, 2022; Tsolakis et al., 2022). Em particular, McGinley (2014) analisa a implantação de sistemas autônomos em veículos de transporte de contêineres no porto de Dublin, facilitados por sensores baseados na Internet das Coisas. A conclusão deste estudo aponta que a utilização desses sistemas resulta em um manuseio de contêineres mais sustentável, ecológico e economicamente viável.

Pedrielli et al. (2020) propuseram a aplicação de inteligência artificial para a simulação de rotas de navios, visando a prevenção de colisões, ao mesmo tempo que Aslam et al. (2020) descreveram a arquitetura, desafios e aplicações emergentes de Internet das Coisas em navios, também conhecida como Internet dos Navios. Eles destacaram os ganhos em segurança, sustentabilidade ambiental e produtividade proporcionados pela aplicação de Internet das Coisas na navegação.

Yau et al. (2020) revisaram a implementação de tecnologias Internet das Coisas para tornar os portos inteligentes, fornecendo sistemas de gerenciamento inteligente para melhorar a eficiência energética, o gerenciamento de equipamentos e contêineres, e reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Eles ressaltaram que as tecnologias da informação e comunicação (TIC) podem ser exploradas para aprimorar as operações e serviços portuários inteligentes, aumentando a competitividade econômica e buscando a sustentabilidade ambiental.

Bayoumi et al. (2020) analisaram os impactos da aplicação de Internet das Coisas nos portos egípcios, por meio de entrevistas com as principais partes interessadas. Concluíram que a integração de Internet das Coisas com outras ferramentas de tecnologias da informação e comunicação pode fornecer aos portos marítimos um melhor monitoramento de suas operações, resultando em ganhos de sustentabilidade ambiental, social e econômica. No entanto, eles também observaram que existem barreiras relacionadas à privacidade e padronização de dados, bem como uma falta de conhecimento das partes interessadas.

Philipp et al. (2021) analisaram a automação de um porto de graneis por meio da aplicação de tecnologias baseadas em Internet das Coisas, o que permitiu a operação autônoma dos navios, resultando em ganhos de produtividade, eficiência energética e ambiental. No entanto, eles também mencionaram barreiras relacionadas à disponibilidade comercial do 5G para a conectividade dos sensores.

Remondino e Zanin (2022) analisaram a aplicação de tecnologias emergentes na logística de alimentos na Itália, destacando vantagens como redução de custos, sustentabilidade ambiental e eficiência logística. Ao mesmo tempo, Tsolakis et al. (2022) avaliaram o uso de inteligência artificial na operação de veículos guiados automaticamente em terminais de contêineres, analisando os ganhos de sustentabilidade ambiental provenientes de sua adoção e automação nas operações terrestres dos portos de carga. Eles concluíram que a coleta e análise eficiente de dados são fundamentais para uma aplicação eficaz e segura dessas tecnologias.

Quando se trata de padronização de dados, os estudos de Lacalle et al. (2019) e Pagano et al. (2022) se destacam. Lacalle et al. (2019) propuseram uma solução baseada em Internet das Coisas para monitoramento e tomada de decisões, objetivando a redução dos impactos ambientais nos portos. Eles aplicaram a solução em quatro portos europeus (Bordéus, Monfalcone, Pireu e Tessalônica) e enfatizaram a importância da padronização dos dados. Por sua vez, Pagano et al. (2022) indicaram

a padronização dos serviços de TIC, fundamentados na Internet das Coisas e na Inteligência Artificial em portos europeus. O objetivo era possibilitar uma comparação mais precisa do grau de maturidade dos conceitos de portos inteligentes no setor portuário.

No que se refere ao monitoramento e avaliação por meio de aplicações de tecnologias emergentes no setor portuário, destacam-se os estudos de Zhao et al. (2020), Steiner et al. (2022) e Peoples et al. (2022). Zhao et al. (2020) conduziram uma pesquisa acerca da implementação de tecnologias baseadas em Internet das Coisas e Big Data no porto de Huanghua, focando na melhoria da eficiência energética, no monitoramento e controle ambiental. Os resultados evidenciaram que as medidas implementadas possibilitaram a integração dos indicadores ambientais e de produção, contribuindo para a eficiência nas operações e o aumento da receita do porto.

No estudo de Steiner et al. (2022), foi proposto um layout para a avaliação de indicadores ambientais em tempo real, utilizando tecnologias baseadas em Internet das Coisas, IA e Big Data. Eles enfatizaram a importância dessas tecnologias para aprimorar a eficiência e a sustentabilidade ambiental. Paralelamente, Peoples et al. (2022) investigaram a aplicação da Internet das Coisas no monitoramento da satisfação dos trabalhadores portuários, regulada por um acordo de nível de serviço. Concluíram que a implementação de tecnologias baseadas em Internet das Coisas pode facilitar a análise da satisfação dos empregados em um ambiente complexo como o setor portuário.

As políticas públicas são fundamentais como direcionadoras para promover a sustentabilidade em todas as partes integrantes do setor portuário. Portanto, é essencial observar as interações nesse setor. Serrano et al. (2018), Lacalle et al. (2020) e Sadiq et al. (2021) demonstram que as tecnologias emergentes são essenciais para compreender como as políticas públicas influenciam e podem ser formuladas por meio da aplicação dessas tecnologias. Serrano et al. (2018) analisaram as dimensões da sustentabilidade portuária utilizando inteligência artificial. Eles destacaram que a principal dimensão da sustentabilidade é a institucional, enfatizando a importância de políticas e regulamentações adequadas para promover práticas sustentáveis nos portos.

Lacalle et al. (2020) propuseram a implementação de monitoramento em tempo real para evitar o congestionamento nos acessos entre a cidade e o porto, utilizando

tecnologias baseadas em Internet das Coisas. Eles desenvolveram uma metodologia para definir, calcular e antecipar indicadores compostos que ajudam na formulação de políticas públicas benéficas tanto para o porto quanto para a cidade. Sadiq et al. (2021) revisaram a aplicação de Internet das Coisas para aprimorar a eficiência energética nos portos, considerando vários processos logísticos, como agendamento de caminhões e gerenciamento de movimentação de cargas. Eles enfatizaram a importância das políticas regulatórias e da infraestrutura moderna dos portos na redução de poluentes e no aumento da eficiência energética.

A tomada de decisão estratégica é um elemento presente na indústria portuária para garantir sua sobrevivência, e os estudos de Echeverry et al. (2015) e González-Cancelas et al. (2019) discutem como as tecnologias emergentes contribuem para essa temática. Echeverry et al. (2015) discutiram a aplicação de um módulo conceitual inteligente de apoio à decisão baseado em inteligência artificial para a proteção ambiental e identificação de possíveis parceiros na gestão ambiental colaborativa. Por outro lado, González-Cancelas et al. (2019) aplicaram tecnologias de inteligência artificial para definir as principais variáveis que influenciam na decisão do uso do Gás Natural Liquefeito (GNL) em navios, contribuindo para a busca de soluções mais sustentáveis para o setor marítimo.

No contexto da caracterização dos portos inteligentes e da governança de dados para a utilização de Internet das Coisas, destacam-se os estudos de Heikkila et al. (2022) e Gao et al. (2022), respectivamente. Heikkila et al. (2022) caracterizaram os portos inteligentes com base na revisão da literatura e nos principais portos de contêineres, identificando três áreas de foco: automação, sustentabilidade e colaboração. O estudo definiu quatro cenários possíveis para a digitalização nos portos (inovação fragmentada, ecossistema portuário, aliança da cadeia logística e plataforma global fechada), concluindo que todos os cenários são viáveis e que a definição depende dos atores que lideram a inovação. Gao et al. (2022) estudaram a estrutura de governança para a utilização de dados de Internet das Coisas nos portos inteligentes. Os resultados do estudo destacam que a governança dos dados de Internet das Coisas é essencial para garantir a operação consistente e sustentável nos portos.

Dessa forma, evidencia-se uma preocupação com estudos voltados para a transformação de portos tradicionais em portos inteligentes por meio da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0. A utilização de tecnologias como Internet das Coisas, IA

e sistemas autônomos, interagindo com outras tecnologias, tem demonstrado impactos positivos na eficiência operacional, sustentabilidade ambiental e melhoria dos serviços portuários. Essas tecnologias oferecem oportunidades significativas para aprimorar a tomada de decisões, aumentar a segurança e otimizar os processos logísticos nos portos.

2.3 Setor ferroviário brasileiro e sustentabilidade

No contexto das inovações tecnológicas no setor de transporte no Brasil, é fundamental explorar o impacto dessa temática. O setor ferroviário, que compartilha algumas semelhanças temáticas com o setor portuário, diz respeito à movimentação eficiente de mercadorias e à redução das emissões de gases de efeito estufa. Essa discussão está relacionada ao ambiente profissional do autor, demonstrando uma grande similaridade de temas e preocupações, além das tecnologias implementadas para o desenvolvimento da sustentabilidade.

As emissões de gases do efeito estufa no setor ferroviário brasileiro são uma preocupação existente na literatura e foram exploradas no estudo realizado por Kiyota et al. (2015). Foram conduzidos testes para calcular as emissões de gases no setor ferroviário de cargas no Brasil. O modelo utilizado mostrou-se satisfatório para a projeção das emissões de gases de efeito estufa no país.

Branco et al. (2022) destacaram as diferenças nas políticas logísticas em todo o mundo, ressaltando os esforços para melhorar a infraestrutura e o desempenho logístico e que, no contexto brasileiro, as condições de infraestrutura comprometem a eficiência do transporte e mantêm altos níveis de emissões de dióxido de carbono (CO₂) avaliando que a inclusão de novas ferrovias no sistema logístico tem potencial para reduzir custos e emissões.

A transição para a administração privada trouxe muitos benefícios no direcionamento voltado para a inovação e, conseqüentemente, para a sustentabilidade. O trabalho de Nunes (2019) observou a longa trajetória da administração do sistema ferroviário brasileiro no setor público, que evoluiu ao longo dos anos com a transição para a gestão privada. Essa mudança na administração e a evolução resultante podem ser semelhantes ao que se espera no setor portuário, uma vez que a busca por eficiência é constante em ambas as áreas.

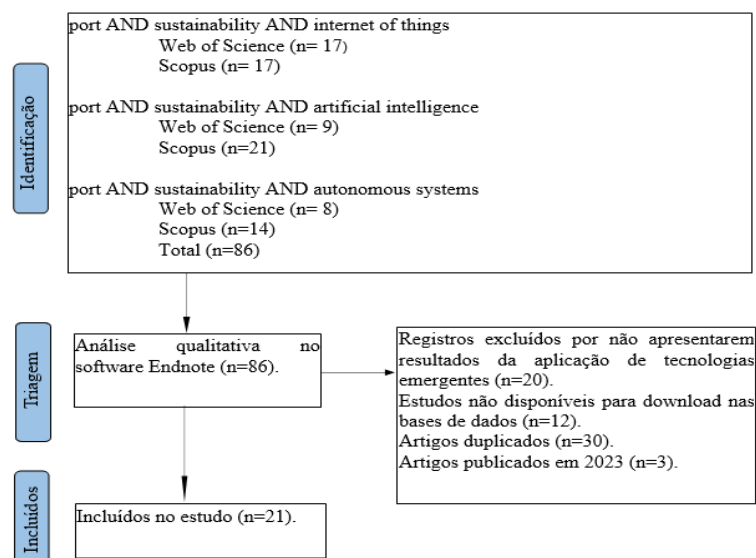
Entretanto, os desafios e impactos econômicos da política tarifária se contrapõem aos benefícios das políticas implementadas pelo setor privado, como destacado por Betarelli et al. (2020), que analisaram os impactos econômicos das políticas tarifárias no setor de frete ferroviário no Brasil. Seus resultados destacam a complexidade das políticas de transporte, que podem afetar o crescimento do PIB e os investimentos no setor, ressaltando a importância de políticas eficazes no setor ferroviário para garantir a eficiência das operações.

3 METODOLOGIA

A dissertação foi estruturada em duas etapas. Na primeira, realizou-se um estudo bibliométrico com o objetivo de analisar o impacto das tecnologias emergentes na sustentabilidade do setor portuário. Este estudo destacou as principais características das tecnologias e proporcionou uma visão ampla das temáticas envolvidas. A segunda etapa consistiu em um estudo documental focado na aplicação dessas tecnologias emergentes específicas ao contexto portuário brasileiro. Esta etapa também enfatizou as principais características e realizou uma análise detalhada das temáticas pertinentes, buscando entender o patamar em que o Brasil se encontra em termos de adoção dessas inovações.

Para a análise bibliométrica, foram empregadas as ferramentas EndNote, IRaMuTeQ e VOSviewer. A metodologia de pesquisa adotada envolveu o uso das bases de dados Web of Science (Coleção Principal) e Scopus, com a utilização das palavras chaves organizadas da seguinte maneira: port AND sustainability AND internet of things, port AND sustainability AND artificial intelligence, port AND sustainability AND autonomous systems. Resultando na recuperação de um total de 86 artigos. A estratégia de pesquisa adotada compreendeu a combinação dos termos conforme apresentado na Figura 1, e incluiu diversos tipos de publicações, tais como artigos de periódicos, anais de conferências e revisões da literatura.

Figura 1 - Identificação dos estudos sobre tecnologias emergentes no setor portuário



Fonte: elaboração própria.

A coleção inicial de publicações foi exportada para o software EndNote, onde foram eliminados 30 artigos duplicados. Posteriormente, realizou-se uma análise qualitativa das pesquisas, excluindo 20 estudos que não se alinhavam com o objetivo principal do trabalho, ou seja, aqueles que não reportavam resultados sobre as aplicações das tecnologias emergentes nos portos. Também foram removidos 12 artigos indisponíveis para download nas bases de dados consultadas e 3 publicações de 2023. Com isso, obteve-se um corpus final de 21 artigos publicados entre 2012 e 2022, que foram usados como base para a realização deste estudo.

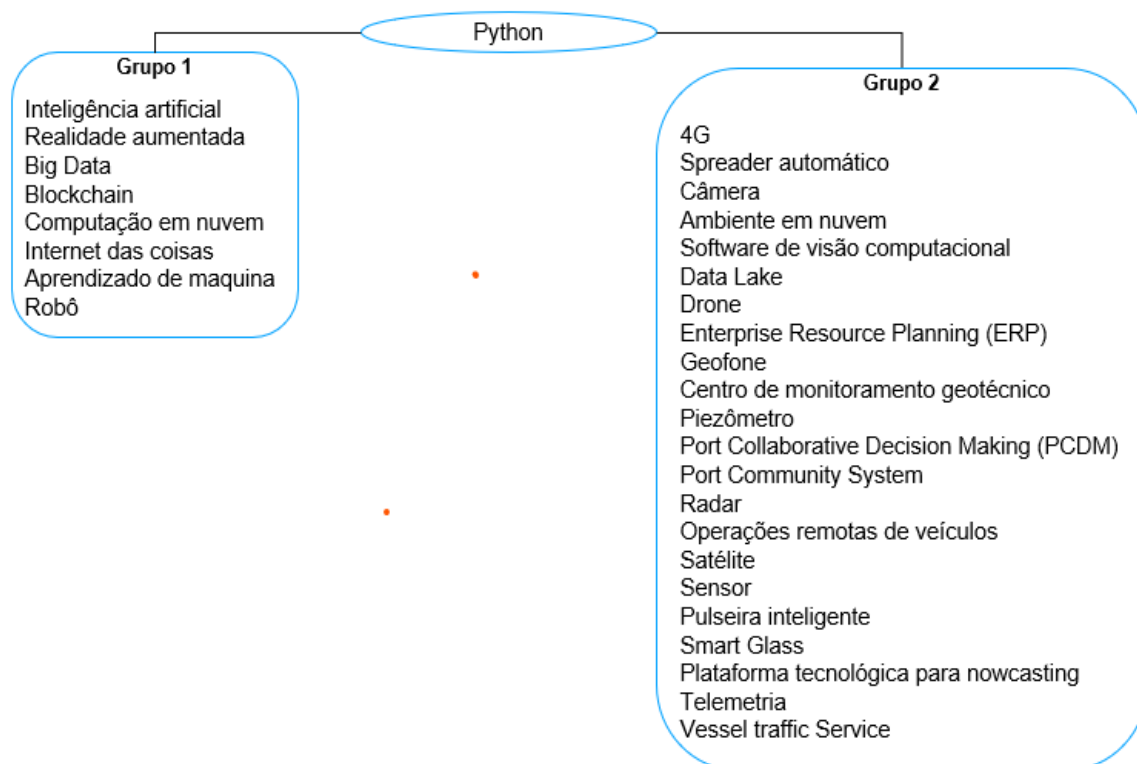
A análise bibliométrica desses 21 artigos foi conduzida por meio dos softwares IRaMuTeQ e VOSviewer, permitindo a coleta de dados sobre o ano de publicação, palavras-chave mais frequentes, países de origem e as principais tecnologias.

A segunda etapa da dissertação consistiu na realização de uma análise documental detalhada. Para isso, foram empregadas técnicas avançadas de mineração de textos com o objetivo de examinar os Relatos Integrados (RI), Relatórios de Sustentabilidade (RS) e Relatórios Anuais (RA) de portos e terminais. Esta análise concentrou-se especificamente na extração de trechos que abordavam a aplicação de tecnologias emergentes nas operações de empresas e autoridades portuárias.

Para aprofundar a investigação, o estudo utilizou o software Python, que permitiu a aplicação de estratégias de mineração de dados para analisar 23 documentos. A técnica consistiu em identificar palavras de alta frequência na literatura acadêmica relacionadas às tecnologias aplicadas, o que possibilitou o reconhecimento de termos correlatos aos processos operacionais dos portos e terminais em análise.

Complementando a abordagem analítica, foram geradas representações gráficas utilizando os softwares VOSviewer e IRaMuTeQ. Essas representações ajudaram a visualizar as conexões entre os termos mais recorrentes e a destacar as tecnologias predominantes, facilitando uma compreensão mais intuitiva das tendências e práticas no setor portuário relacionadas à sustentabilidade. A Figura 2 evidencia as palavras utilizadas na análise dos relatórios.

Figura 2 - Palavras utilizadas na análise dos relatórios



Fonte: elaboração própria.

Para a realização do estudo documental, optou-se pelos portos e terminais que apresentaram as maiores movimentações portuárias em 2021. Foram selecionados todos os portos e terminais com movimentações iguais ou superiores a 0,5%, totalizando quarenta e quatro portos e terminais. A Tabela 1 detalha a população do estudo, a autoridade portuária ou empresa, a localização, o ano de publicação do último relatório de sustentabilidade ou relatório equivalente e a movimentação portuária.

Tabela 1 - População de estudo

Porto público e privado	UF	Autoridade portuária/Empresa	Administração	Relatório	% Mov. Port
Terminal Marítimo de Ponta da Madeira	MA	Vale	Terminal de uso privado	RI 2022	15%
Santos	SP	Santos Port Authority	Porto público	RS 2021	9.3 %
Terminal de Tubarão	ES	Vale	Terminal de uso privado	RI 2022	5.3%
Terminal Aquaviário de Angra dos Reis	RJ	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	5.3%
Terminal Aquaviário de São Sebastião	SP	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	4.5%

Itaguaí	RJ	Docas do Rio	Porto público	RA 2021	4.3%
Paranaguá	PR	Portos do Paraná	Porto público	RS 2021	4.2%
Itaqui	MA	Emap	Porto público	RS 2021	2.6%
Terminal de Petróleo Tpet/Toil – Açu	RJ	Porto Açu	Terminal de uso privado	RS 2021	2.5%
Rio Grande	RS	Portos RS	Porto público	-	2.3%
Terminal da Ilha Guaíba - Tig	RJ	Vale	Terminal de uso privado	RI 2022	2.2%
Porto do Açu - Terminal de Minério	RJ	Porto Açu	Terminal de uso privado	RS 2021	1.9%
Terminal Portuário do Pecém	CE	Complexo do Pecém	Terminal de uso privado	RS 2021	1.8%
Suape	PE	Complexo do Suape	Porto público	RS 2021	1.8%
Terminal Aquaviário da Ilha D'Água	RJ	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	1.8%
Terminal Aquaviário de São Francisco do Sul	SC	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	1.5%
Porto Sudeste do Brasil	RJ	Porto Sudeste do Brasil	Terminal de uso privado	RS 2022	1.5%
Terminal Aquaviário de Madre de Deus	BA	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	1.4%
Vila do Conde	PA	Docas Pará	Porto público	-	1.4%
Terminal Portuário Privativo da Alumar	MA	Alcoa	Terminal de uso privado	RS 2021	1.2%
Terminal Aquaviário de Osório	RS	Petrobras	Terminal de uso privado	RS 2021	1.1%
São Francisco do Sul	SC	Porto de São Francisco do Sul	Porto público	RS 2021	1.1%
Portonave - Terminais Portuários de Navegantes	SC	Portonave	Terminal de uso privado	RS 2021	1.0%
Dp World Santos	SP	Dp World	Terminal de uso privado	-	1.0%
Terminal de Trombetas	PA	Mineração Rio do Norte	Terminal de uso privado	RS 2021	1.0%
Terminal de Praia Mole	ES	VLI	Terminal de uso privado	RS 2021	1.0%
Terminal Integrador Portuário Luiz Antonio Mesquita – Tiplam	SP	VLI	Terminal de uso privado	RS 2021	1.0%
Santarem	PA	Docas Pará	Porto público	-	0.9%
Rio de Janeiro	RJ	Docas do Rio	Porto público	RA 2021	0.9%
Terminal Graneleiro Hermasa	AM	AMAGGI	Terminal de uso privado	RS 2021	0.8%
Terminal Vila do Conde	PA	Ultracargo	Terminal de uso privado	RI 2022	0.8%
Porto Itapoá Terminais Portuários	SC	Porto Itapoá	Terminal de uso privado	-	0.7%

Vitória	ES	Companhia Docas do Espírito Santo	Porto público	RA 2018	0.7%
Terminal Marítimo Ponta Ubu	ES	Samarco	Terminal de uso privado	RS 2021	0.6%
Ternium Br	RJ	Ternium	Terminal de uso privado	-	0.6%
Aratu	BA	Companhia Docas da Bahia	Porto público	RI 2021	0.6%
Porto Chibatão	AM	Grupo Chibatão	Terminal de uso privado	-	0.6%
Terbian - Terminal Bianchini	RS	Portos RS	Terminal de uso privado	-	0.6%
Portocel - Terminal Especializado de Barra do Riacho	ES	Portocel	Terminal de uso privado	RA 2021	0.6%
Imbituba	SC	SCPAR	Porto público	RS 2021	0.6%
Terminal Fluvial de Juruti	PA	Alcoa	Terminal de uso privado	RS 2021	0.6%
Terminal Marítimo Alfandegário Privativo de Uso Misto de Praia Mole	ES	Usiminas	Terminal de uso privado	RS 2022	0.6%
Itajaí	SC	Superintendência do Porto de Itajaí	Porto público	-	0.5%
Salvador	BA	Companhia Docas da Bahia	Porto público	RI 2021	0.5%

Fonte: Antaq (2023).

Considerando que alguns terminais e portos têm a mesma empresa ou autoridade portuária como gestora, optou-se por analisar os relatórios das empresas gestoras. Assim, a amostra do estudo contou com 23 relatórios. A Tabela 2 apresenta o nome da empresa ou autoridade portuária gestora, o relatório utilizado para o estudo e o percentual da movimentação portuária total do porto ou terminal.

Tabela 2 - Amostra do estudo

Item	Empresa ou autoridade portuária	Terminais	Relatório	% Movimentação Portuária Total
1	Vale S.A.	3	RS 2022	22,5%
2	Petrobras	6	RS 2022	15,6%
3	Santos Port Authority	1	RS 2021	9,3%
4	Docas do Rio	2	RA 2022	5,2%

5	Porto Açú	2	RS 2021	4,4%
6	Portos do Paraná	1	RS 2021	4,2%
7	Emap	1	RS 2021	2,6%
8	VLI	2	RS 2021	2,0%
9	Alcoa	2	RS 2021	1,8%
10	Complexo do Pecém	1	RS 2021	1,8%
11	Complexo do Suape	1	RS 2022	1,8%
12	Porto Sudeste do Brasil	1	RS 2022	1,5%
13	Porto de São Francisco do Sul	1	RS 2021	1,1%
14	Companhia Docas da Bahia	2	RI 2021	1,1%
15	Portonave	1	RS 2021	1,0%
16	Mineração Rio do Norte	1	RS 2021	1,0%
17	Ultracargo	1	RI 2022	0,8%
18	AMAGGI	1	RS 2021	0,8%
19	Companhia Docas do Espírito Santo	1	RA 2018	0,7%
20	Usiminas	1	RS 2022	0,6%
21	SCPAR	1	RS 2021	0,6%
22	Samarco	1	RS 2021	0,6%
23	Portocel	1	RA 2021	0,6%
				81,6%

Fonte: Antaq (2023).

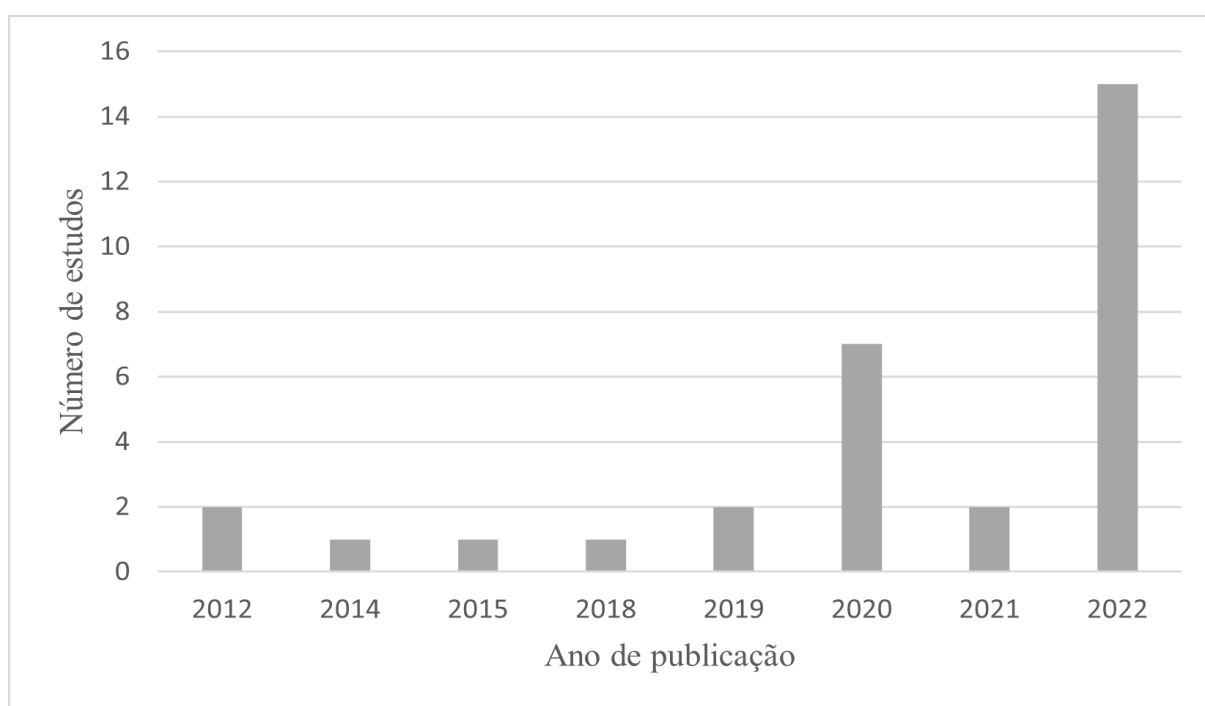
Dessa forma, realizou-se a leitura dos relatórios das empresas contidas na Tabela 2 com o auxílio de técnicas de mineração de dados para a extração e análise dos textos que abordaram a aplicação das tecnologias mais avançadas pelas empresas gestoras dos portos e terminais da logística portuária brasileira. Foi realizada uma análise das principais tecnologias, características e temas relacionados a essas tecnologias, além de outras análises como poderão ser visualizadas na seção de resultados.

4 RESULTADOS

4.1 Tecnologias emergentes na literatura do setor portuário

A análise bibliométrica foi realizada com base em uma seleção de 21 artigos que abordam as temáticas de tecnologias emergentes, incluindo Internet das Coisas, Inteligência Artificial (IA) e Sistemas Autônomos. O período de observação compreendeu uma década, indo de 2012 a 2022. Os resultados indicaram a ausência de estudos nos anos de 2013, 2016 e 2017, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Evolução dos estudos

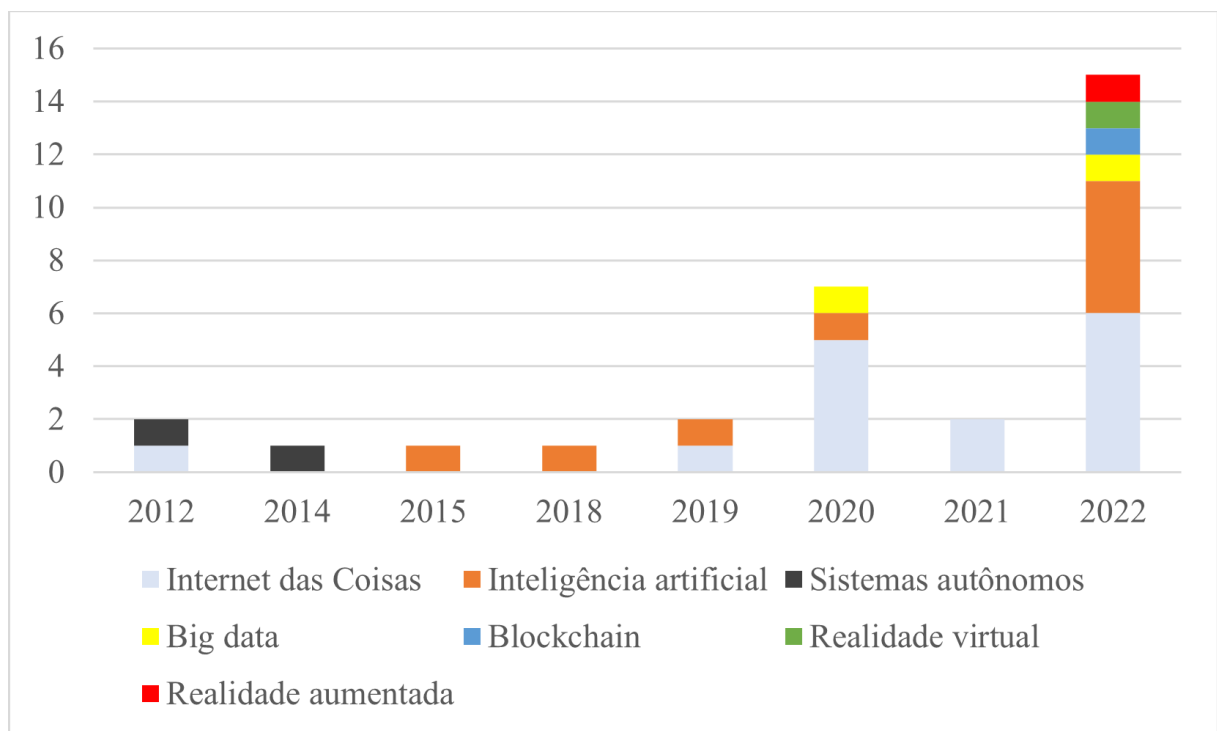


Fonte: dados da pesquisa.

O aumento das tecnologias de Internet das Coisas nas publicações a partir de 2019 (conforme Figura 4) ilustra uma lacuna de pesquisa nesta temática, sinalizando sua relevância para o avanço das tecnologias emergentes a partir desse ano. A Internet das Coisas, que permite a conexão de objetos físicos à internet e a subsequente comunicação entre si e com outros dispositivos (Al-Fuqaha et al., 2015), é aplicada para coletar dados em tempo real sobre equipamentos e operações marítimas e portuárias, além disso, o aproveitamento desses dados possibilita a

otimização da tomada de decisões, a previsibilidade de falhas de equipamentos e a minimização do tempo de inatividade, potencializando, assim, a eficiência operacional (Aslam et al., 2020).

Figura 4 - Evolução dos estudos por tecnologias de 2012 a 2022



Fonte: dados da pesquisa.

A predominância do interesse em estudos sobre a Internet das Coisas nos trabalhos a partir de 2019 está relacionada à disponibilidade de dispositivos e sensores de Internet das Coisas. Nos últimos anos, essa tecnologia se tornou mais acessível, aumentando o número de dispositivos conectados à internet. Isso tornou mais fácil e viável a implementação da Internet das Coisas (Al-Fuqaha et al., 2015). Além disso, a Internet das Coisas é uma tecnologia que se integra facilmente a outras tecnologias da Indústria 4.0. Isso permite que os dados coletados pela Internet das Coisas sejam usados para melhorar ainda mais as operações (Lee e Lee, 2015).

Já a IA, está sendo aplicada nos portos para melhorar a tomada de decisões (Echeverry et al., 2015) e a eficiência das operações (Tsolakis et al., 2022). Por exemplo, a IA pode ser usada para prever a demanda por serviços portuários, otimizar

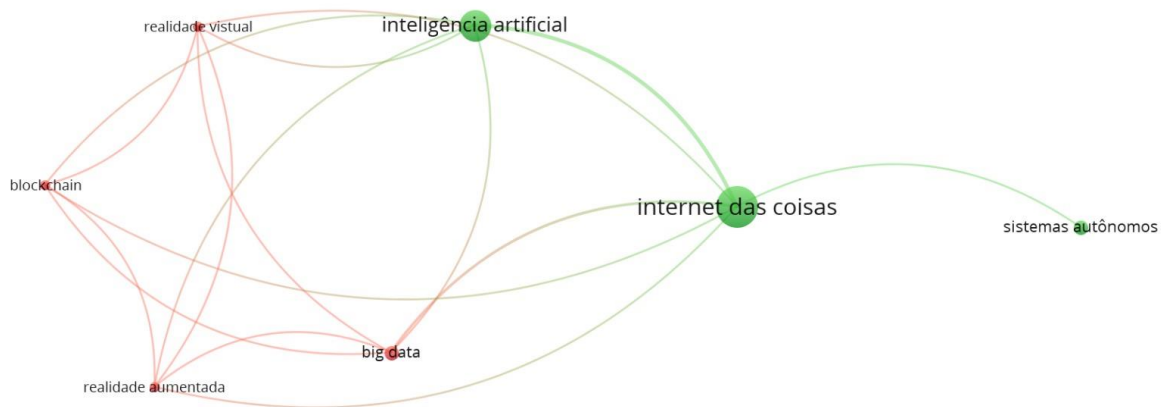
as rotas de transporte e melhorar a segurança dos portos por meio da detecção de ameaças e prevenção de acidentes (Pedrielli et al., 2020).

Os dados coletados pela Internet das Coisas podem ser usados para alimentar sistemas autônomos e a IA permitindo que essas tecnologias operem de forma mais eficiente e precisa. Além disso, a aplicação de IA em portos está sendo impulsionada pela crescente demanda por operações portuárias mais eficientes e ambientalmente sustentáveis (Steiner et al., 2022). As empresas estão buscando maneiras de reduzir custos e aumentar a eficiência das operações portuárias, e as tecnologias da Indústria 4.0, como sistemas autônomos e IA, podem ajudar a alcançar esses objetivos.

Dentre os estudos que abordam as tecnologias emergentes em portos, verifica-se um cenário em que a Internet das Coisas se destaca como a tecnologia mais abordada nos estudos examinados. Essa predominância é atribuída ao fato de que a Internet das Coisas é uma das bases fundamentais para a implementação das demais tecnologias emergentes, permitindo a conectividade e comunicação entre dispositivos, máquinas e sistemas. Além disso, a Internet das Coisas tem uma natureza abrangente e versátil, permitindo sua aplicação em diversas áreas, desde o monitoramento da carga e infraestrutura até a otimização da logística e gestão de recursos (Al-Fuqaha et al., 2015). Sua capacidade de coletar e analisar dados em tempo real também é valiosa para a tomada de decisões informadas e o aprimoramento contínuo das operações portuárias (Pagano et al., 2022).

Apesar do destaque da Internet das Coisas, ela não é a única tecnologia impactando a indústria portuária (ver Figura 5 e Tabela 3). A IA é outra tecnologia proeminente, apresentando interconexão com todas as tecnologias identificadas nos estudos, exceto os sistemas autônomos. Essa relação abrangente se deve ao fato de que a IA é frequentemente integrada à Internet das Coisas e outras tecnologias para processar os dados coletados, identificar padrões, tomar decisões autônomas e melhorar a eficiência operacional (Heikkila et al., 2022; Remondino e Zanin, 2022; Pagano et al., 2022 e Steiner et al., 2022;)

Figura 5 - Relação entre as tecnologias emergentes



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 3 - Tecnologias emergentes

Classificação	Tecnologias emergentes	Ocorrências	Intensidade da ligação
1	Internet das Coisas	15	10
2	Inteligência artificial	9	8
3	Big data	2	6
4	Blockchain	1	5
5	Realidade aumentada	1	5
6	Realidade virtual	1	5
7	Sistemas autônomos	2	1

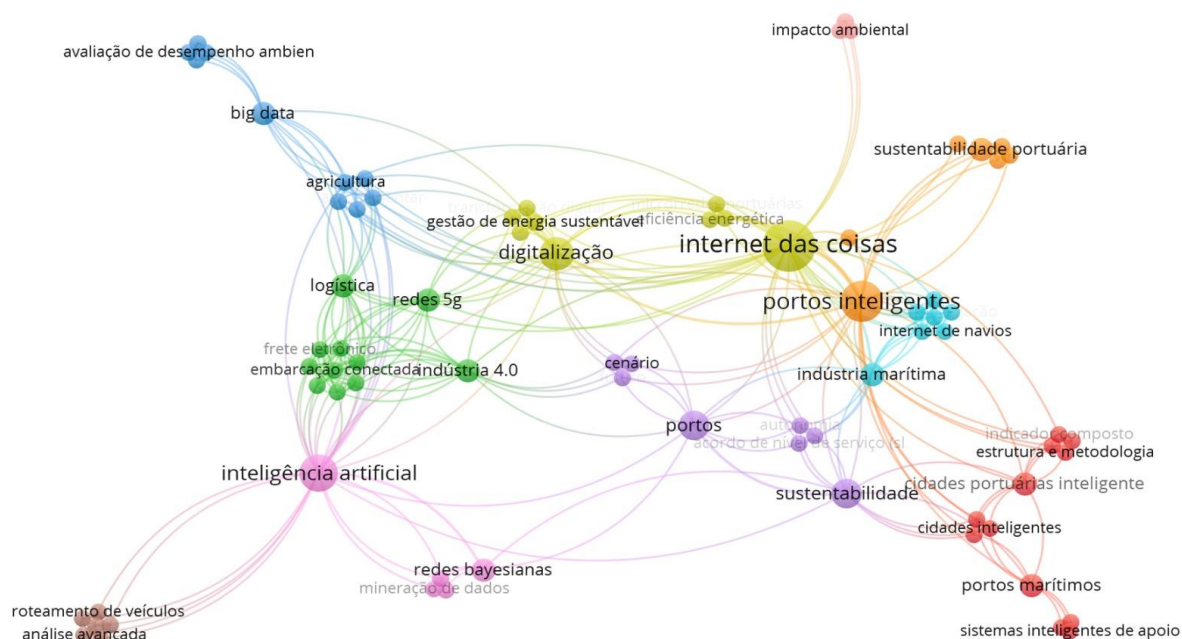
Fonte: dados da pesquisa.

No entanto, é interessante notar que os sistemas autônomos aparecem isoladamente em relação à Internet das Coisas. Isso é explicado pelo fato de que os sistemas autônomos são considerados uma aplicação específica da Internet das Coisas, onde dispositivos e máquinas operam de forma autônoma e independente com base nos dados coletados pela Internet das Coisas, como nos estudos de McGinley (2014) e Ruiz et al. (2012). Essa relação mais restrita indica que a implementação de sistemas autônomos nos portos ainda está em estágio inicial de desenvolvimento e pesquisa, limitando sua presença nos estudos analisados. Além disso, mostra que os estudos precisam ser direcionados para a integração desses sistemas à inteligência artificial e demais tecnologias.

Dessa forma, a predominância da Internet das Coisas nos estudos é atribuída à sua natureza essencial na Indústria 4.0 e sua ampla aplicabilidade nos portos. Enquanto isso, a forte relação da IA com outras tecnologias destaca seu papel como impulsionadora da transformação digital. Por outro lado, a presença isolada dos sistemas autônomos indica que essa área requer mais pesquisas e avanços tecnológicos para se tornar mais amplamente integrada aos ambientes portuários inteligentes.

Analisando as palavras-chave utilizadas nos estudos (Figura 6 e Tabela 4) constata-se a recorrência mais significativa da palavra-chave "internet das coisas" nos artigos analisados que é justificada pelo amplo uso e relevância dessa tecnologia na Indústria 4.0 em portos. A Internet das Coisas é uma das principais bases tecnológicas que permitem a interconexão e comunicação entre dispositivos e sensores (Al-Fuqaha et al., 2015), o que possibilita a coleta de dados em tempo real e a tomada de decisões mais eficientes nas operações portuárias. Além disso, a Internet das Coisas tem um papel crucial na automação de processos, o que reduz erros de operação, aumenta a eficiência e viabiliza a implementação de tecnologias avançadas (Aslam et al., 2020).

Figura 6 - Análise das palavras-chaves



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 4 - Rank das palavras-chave

Classificação	Palavra-chave	Ocorrências
1	Internet das Coisas	8
2	Inteligência artificial	4
3	Porto inteligente	4
4	Portos	3
5	Sustentabilidade	3
6	Big data	2
7	Digitalização	2
8	Indústria 4.0	2
9	Indústria marítima	2
10	Logística	2
11	Redes bayesianas	2
12	Sustentabilidade Portuária	2

Fonte: dados da pesquisa.

A correlação da palavra-chave 'Internet das coisas' com as palavras 'indicador composto', 'impacto ambiental', 'governança de dados', 'eficiência energética', 'sustentabilidade portuária', 'e-navegações' e 'indústria marítima' é explicada pelo seu potencial em fornecer informações precisas e em tempo real sobre o desempenho operacional, a sustentabilidade e o impacto ambiental dos portos. A Internet das Coisas possibilita a coleta e análise abrangente de dados, facilitando a gestão e a tomada de decisões mais sustentáveis e eficientes (Al-Fuqaha et al., 2015).

A recorrência da palavra-chave 'inteligência artificial' e suas correlações com 'análise avançada', 'redes bayesianas', 'big data', 'logística' mostram o crescente interesse na aplicação de técnicas avançadas de IA nos portos. A IA, aliada a recursos de análise de dados, é capaz de processar grandes volumes de dados e identificar padrões complexos, o que permite o aprimoramento da logística portuária (Tsolakis et al., 2022), otimizando a tomada de decisões e prevendo melhores oportunidades de cooperação para a melhoria da sustentabilidade do setor portuário com maior precisão (Echeverry et al., 2015). A correlação com 'rede móvel 5G' indica que a IA pode se beneficiar da alta velocidade e baixa latência do 5G para oferecer soluções mais ágeis e eficientes (Pagano et al., 2022).

A relevância da palavra-chave 'portos inteligentes' e suas correlações com 'estudo de caso', 'cidades portuárias inteligentes', 'cidades inteligentes', 'sustentabilidade' e 'indústria marítima' demonstra o interesse crescente em

transformar os portos em ecossistemas inteligentes e sustentáveis. Os estudos de caso são importantes para compreender e avaliar a implementação bem-sucedida de soluções inteligentes em portos específicos, como os estudos de Ruiz et al. (2012), McGinley (2014), Lacalle et al. (2019), Zhao et al. (2020), Lacalle et al. (2020), Philipp et al. (2021), Pagano et al. (2022) e Tsolakis et al. (2022). A busca por cidades portuárias inteligentes e sustentáveis está relacionada ao desejo de integrar os portos às cidades, promovendo maior eficiência e colaboração no fluxo de mercadorias e transporte, visando o benefício mútuo (Lacalle et al., 2020).

A palavra-chave 'digitalização' surge como um tema central nessa análise devido à sua abrangência e transversalidade. A digitalização é a base de todas as tecnologias da Indústria 4.0, pois envolve a transformação de processos analógicos em digitais, permitindo a integração e interconexão de ecossistemas digitais (Xu et al., 2018). Essencial para a implementação bem-sucedida das tecnologias mencionadas anteriormente, a digitalização viabiliza a coleta, análise e compartilhamento de informações de forma rápida e eficiente, impulsionando a modernização e a eficácia dos portos, como argumentado nos estudos de Sadiq et al. (2021), Philipp et al. (2021) e Heikkila et al. (2022).

A relevância da digitalização também está relacionada à crescente necessidade de otimização dos processos portuários, assim como ao aumento da competitividade no cenário global. Com a adoção da digitalização, os portos podem aprimorar a eficiência de suas operações, reduzir custos e oferecer serviços mais ágeis aos clientes (Sadiq et al., 2021). Além disso, a digitalização possibilita uma maior integração entre os diversos setores e atores envolvidos na cadeia logística portuária, contribuindo para uma gestão mais colaborativa e integrada (Heikkila et al., 2022).

Ao analisar os objetivos dos artigos que apresentam estudos de caso (ver Apêndice A), identificam-se os temas centrais que direcionam as pesquisas relacionadas às tecnologias emergentes em portos, tais como Automação, Cidades Portuárias Inteligentes, Internet das Coisas, Sustentabilidade Portuária e Tecnologia da Informação.

A Internet das Coisas é um dos principais temas abordados nos estudos, sendo mencionada nos trabalhos de Ruiz et al. (2012), Lacalle et al. (2019) e Lacalle et al. (2020). O potencial da Internet das Coisas para coletar dados heterogêneos, criar arquiteturas válidas para coleta, manipulação e visualização de dados, bem como

para automatizar operações de carregamento, movimentação de contêineres e planejamento é explorado.

A busca por práticas sustentáveis é outro tema relevante, especialmente no que diz respeito aos portos de carvão e terminais de contêineres. Os estudos de Zhao et al. (2020) e Tsolakis et al. (2022) procuram entender como as tecnologias inteligentes, como a Internet das Coisas e a IA, podem ser integradas para promover a sustentabilidade econômica, ambiental e social dos portos.

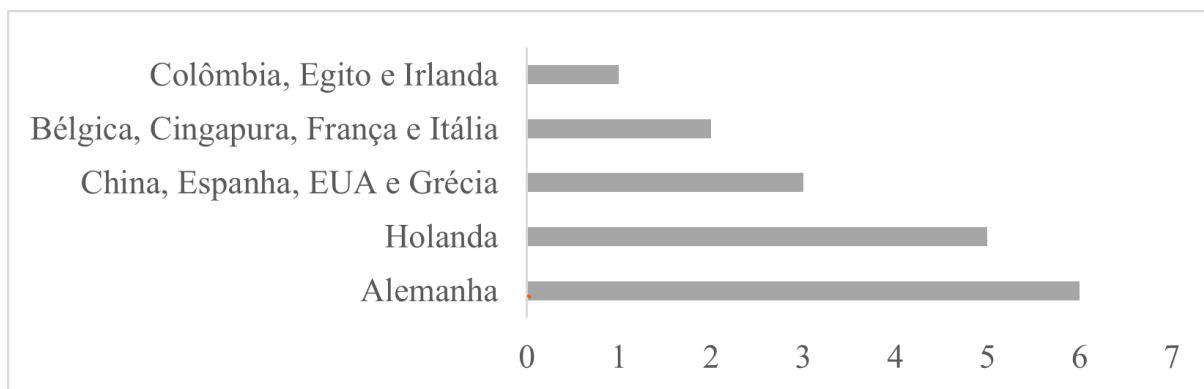
A automação é abordada nos estudos de McGinley (2014) e Philipp et al. (2021), com ênfase na automação do carregamento de grãos e no uso de veículos guiados automaticamente em terminais de contêineres. Essas tecnologias são vistas como possíveis impulsionadoras da eficiência operacional e da sustentabilidade ambiental.

Lacalle et al. (2020) propõem estruturas de software baseadas em Internet das Coisas para criar cidades portuárias inteligentes. Essas pesquisas visam definir e calcular indicadores compostos que representam fenômenos do mundo real, contribuindo para a gestão eficiente e integrada das operações portuárias.

A padronização dos sistemas de tecnologia da informação e comunicação nos portos é debatida no estudo de Pagano et al. (2022) com o objetivo de avaliar a inteligência dos portos por meio de um vetor padrão. A padronização é vista como um meio para melhorar a interoperabilidade e eficiência dos portos europeus.

A análise dos objetivos dos estudos de caso revelou uma forte ênfase nas tecnologias de Internet das Coisas e IA aplicadas aos portos, visando aprimorar a eficiência operacional, promover a sustentabilidade e explorar o potencial das cidades portuárias inteligentes. A busca por soluções inovadoras e a automação de processos são características comuns nas pesquisas analisadas, refletindo o interesse crescente em aplicar tecnologias emergentes no setor portuário.

Figura 7 - Países dos portos estudados nos artigos analisados



Fonte: dados da pesquisa.

Constatou-se que a maioria dos estudos está centrada nos portos europeus (ver Figura 7). Tal predileção está relacionada aos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, políticas governamentais favoráveis e ao avanço da infraestrutura tecnológica nos respectivos países. A Grécia, por exemplo, com sua tradição em transporte marítimo e portos estrategicamente localizados no Mediterrâneo, e a China, que tem investido fortemente em tecnologia, incluindo IA e robótica, apresentam forte presença em pesquisa e desenvolvimento (WIPO, 2022). A Holanda e a Alemanha também são reconhecidas por seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento, particularmente em engenharia, automação e tecnologia, com políticas que incentivam a inovação e o empreendedorismo. Os Estados Unidos, possuindo um dos ecossistemas de inovação mais avançados do mundo e empresas de tecnologia líderes, contribuem substancialmente para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias avançadas. Finalmente, a Espanha tem um ecossistema de inovação em rápido crescimento, com significativa presença de startups e empresas emergentes, além de políticas que incentivam a inovação e o empreendedorismo tecnológico, colaborações universidade-empresa e a aplicação de tecnologias avançadas como IA e Internet das Coisas (OECD, 2021; WIPO, 2022).

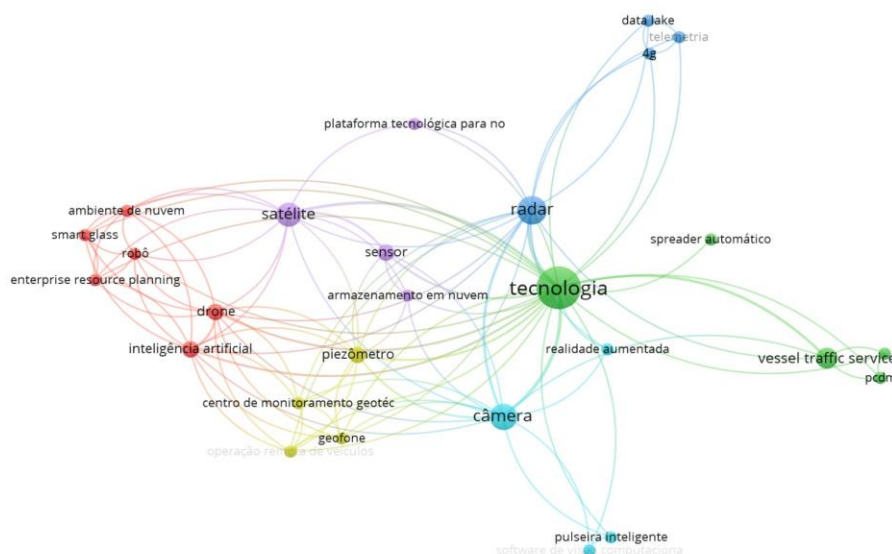
4.2 Tecnologias emergentes e o setor portuário brasileiro

A análise dos relatórios das empresas abrangidas neste estudo revelou uma rede complexa de tecnologias inter-relacionadas que estão sendo implementadas

para otimizar as operações. Este sistema interligado de inovações tecnológicas reflete uma estratégia integrada dos portos brasileiros para aprimorar a eficácia operacional e enfrentar desafios ambientais. A sinergia entre tecnologias como radar e data lake é particularmente notável, em que a coleta e análise de dados em tempo quase real são fundamentais para o monitoramento, a segurança e o aumento da eficiência nas operações portuárias, conforme discutido por Abou El-Magd et al. (2021). Em paralelo, a telemetria e o VTS são destacados como componentes essenciais na gestão do tráfego marítimo, implicando o uso de Internet das Coisas para uma navegação mais segura e um gerenciamento de tráfego mais fluído, alinhando-se com as observações de Antelo et al. (2011) e Lind et al. (2016).

A integração dessas tecnologias não apenas reforça o comprometimento dos portos com práticas sustentáveis e a redução de impactos ambientais, mas também sinaliza uma evolução no sentido de uma infraestrutura portuária inteligente e adaptável, capaz de responder de maneira eficiente às exigências do comércio marítimo globalizado e às pressões por operações mais sustentáveis. A Figura 8 destaca as tecnologias emergentes e suas conexões.

Figura 8 - Rede de tecnologias



Fonte: dados da pesquisa.

A presença da realidade aumentada e do centro de monitoramento geotécnico aponta para um investimento na gestão de riscos. A realidade aumentada pode ser

utilizada para manutenção (Derrig, 2022), enquanto o centro de monitoramento geotécnico monitora as condições do solo e das estruturas (Lebedev, 2016). A inclusão de sensores, como o piezômetro e geofone, assim como veículos operados remotamente, destaca a importância do monitoramento ambiental e da automação na gestão portuária (McGinley, 2014 e De Albuquerque et al., 2022).

A presença de conexões entre câmeras e várias outras tecnologias nos portos brasileiros revela uma estratégia para aprimorar a gestão e as operações portuárias. As conexões identificadas incluem softwares de visão computacional, realidade aumentada, ambiente em nuvem, sensores, satélites, piezômetros, drones para operação remota de veículos e centro de monitoramento geotécnico.

De acordo com Derrig (2022), o software de visão computacional, quando associado às câmeras, permite o reconhecimento e análise de objetos em tempo real. Isso é fundamental para a segurança, uma vez que pode detectar falhas em navios, garantindo sua integridade e prevenindo acidentes. Além disso, ele destaca que a realidade aumentada pode ser utilizada para fornecer informações contextuais aos operadores, aprimorando ainda mais a eficiência e a segurança.

O ambiente em nuvem é essencial para o armazenamento seguro e acessível das imagens capturadas pelas câmeras, tornando possível a análise de longo prazo e o compartilhamento de dados entre diferentes departamentos e até mesmo com autoridades regulatórias (Heilig et al., 2017; Giusti et al., 2019). Sensores integrados às câmeras podem fornecer informações adicionais, como medições ambientais, que são fundamentais para o monitoramento ambiental, análise de desempenho de equipamentos e a tomada de decisões (Van Kol et al., 2021; De Albuquerque et al., 2022).

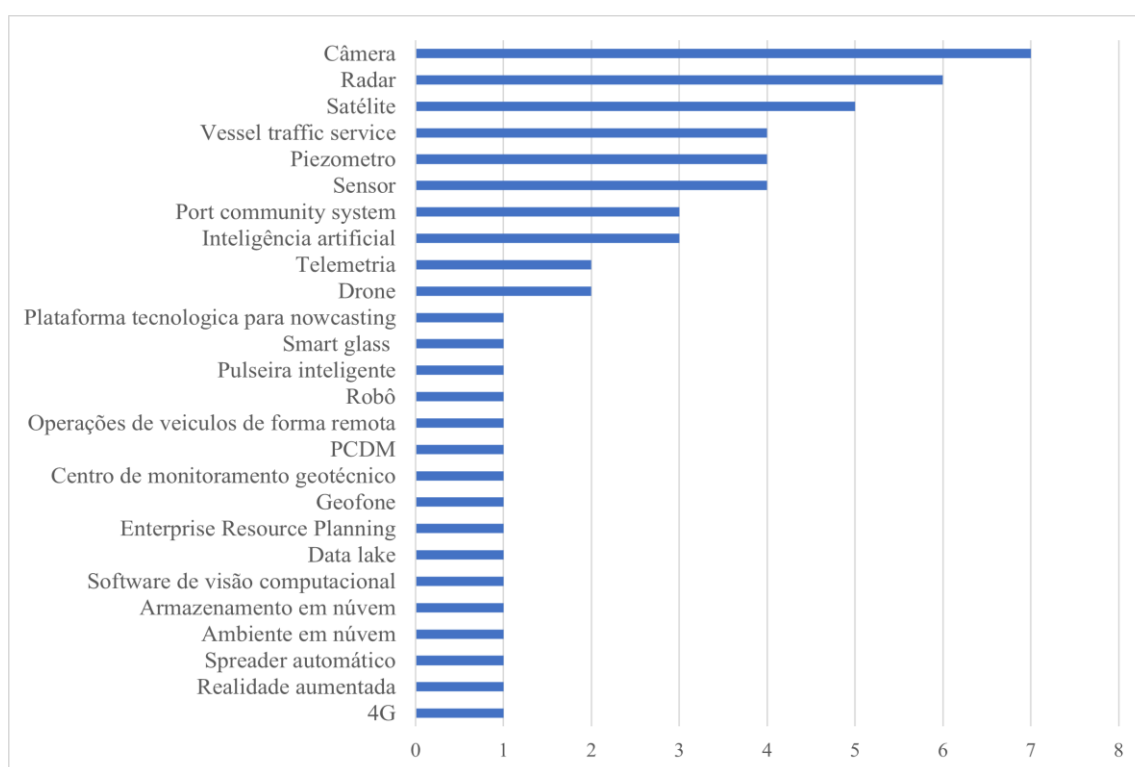
Os satélites desempenham um papel importante na vigilância remota de áreas portuárias, permitindo uma visão mais ampla e o rastreamento de acidentes ambientais, como derramamento de óleo, possibilitando a localização das embarcações e apoiando as autoridades marítimas. Piezômetros, sensores que medem a pressão da água no solo, são vitais para monitorar a estabilidade do solo e das estruturas portuárias, prevenindo deslizamentos de terra e desastres relacionados. Conforme De Albuquerque et al. (2022), a integração de sensores no setor marítimo é essencial para a eficiência e segurança da logística.

A combinação de satélites e sensores permite o monitoramento remoto de uma variedade de parâmetros, como temperatura, umidade, qualidade do ar e movimento

de carga nos portos. Isso é essencial para manter a segurança e a eficiência das operações, bem como para cumprir os regulamentos ambientais (Themistocleous et al., 2019).

A IA pode ser aplicada para analisar os dados coletados por satélites e sensores, identificando tendências, previsões e insights que seriam difíceis de obter de outra forma. Isso é fundamental para a tomada de decisões estratégicas e o aprimoramento contínuo das operações portuárias (Echeverry et al., 2015; Serrano et al., 2018; González-Cancelas et al., 2019; Pedrielli et al., 2020 e Tsolakis et al., 2022).

Figura 9 - Rank das tecnologias



Fonte: dados da pesquisa.

A evidência da aplicação de câmeras, radares e satélites nos relatórios das empresas que administram os principais portos de movimentação no Brasil reflete uma tendência global em direção à adoção de tecnologias habilitadoras (ver Figura 9). Essas tecnologias são vitais para impulsionar a eficiência operacional, a segurança e a sustentabilidade nas operações portuárias (Abou El-Magd et al., 2020; Abou El-Magd et al., 2021; Van Kol et al., 2021).

As câmeras desempenham um papel multifuncional na segurança e na otimização operacional. Elas monitoram áreas-chave do porto, auxiliam na detecção de atividades suspeitas e podem ser usadas para análises de tráfego e gerenciamento de recursos. Além disso, a análise de vídeo por meio de inteligência artificial está se tornando uma ferramenta poderosa para identificar ineficiências e oportunidades de melhoria nas operações (Companhia Docas do Espírito Santo, 2018; Mineração Rio do Norte, 2021; Companhia Docas do Rio de Janeiro, 2022; Usiminas, 2022 e Vale, 2022).

A Companhia Docas do Rio de Janeiro destaca a aplicação desses dispositivos como parte da arquitetura do Console de imagens táticas com realidade aumentada (CITRA), desenvolvido pela divisão de modelagem e simulação do centro de análises de sistemas navais (CASNAV). O relatório da Mineração Rio do Norte demonstra a aplicação das câmeras no monitoramento das operações, assim como a Companhia Docas do Espírito Santo, que fazem parte da arquitetura de Vessel Traffic Management (Companhia Docas do Rio de Janeiro, 2022; Mineração Rio do Norte, 2021 e Companhia Docas do Espírito Santo, 2018).

Além disso, o relatório da Usiminas mostra que esses dispositivos são implementados para possibilitar o projeto de monitoramento das guardas laterais do Trem Acabador do Laminador de Tiras a Quente em Ipatinga, direcionado a monitorar as tiras laminadas em busca de melhoria de performance e qualidade. Isso inclui a redução de sucateamento por curvatura e geração de corpo estranho nas tiras, utilizando câmeras de infravermelho com software de visão computacional (Usiminas, 2022).

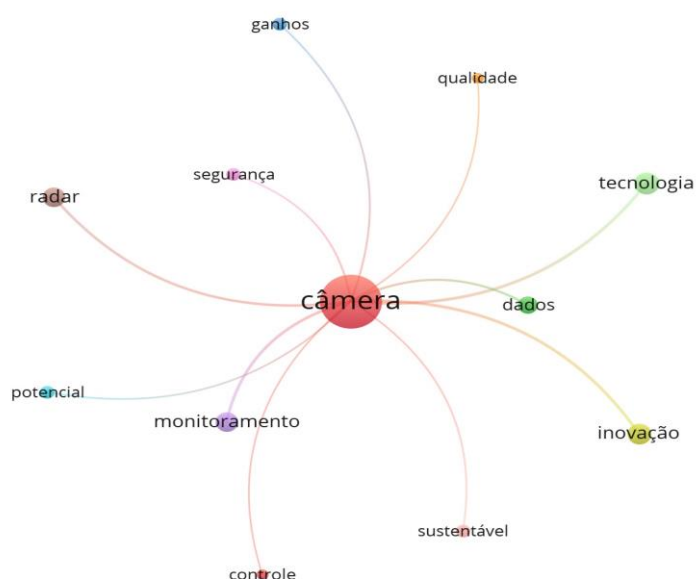
A Tabela 5 ressalta não só a tecnologia de câmeras, mas também a frequência com que temas correlatos são discutidos em conjunto, realçando a multifuncionalidade das câmeras na renovação e na administração aprimorada das atividades portuárias. Há uma conexão clara entre a utilização de câmeras e domínios como tecnologia, monitoramento e radar, detalhada na mencionada tabela e Figura 10. Ademais, a inovação e a sustentabilidade são temáticas que se destacam, revelando que as câmeras não se limitam a promover segurança e vigilância. Elas também são impulsionadoras de práticas inovadoras e sustentáveis, desempenhando um papel essencial na sustentabilidade ambiental dentro dos portos e terminais.

Tabela 5 - Temáticas ligadas as câmeras

Rank	Palavras	Frequência
1	Tecnologia	12
2	Monitoramento	9
3	Radar	9
4	Dados	7
5	Inovação	6
6	Segurança	4
7	Sustentável	4
8	Potencial	4
9	Ganhos	4
10	Controle	3
11	Qualidade	3

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 10 - Temáticas ligadas as câmeras



Fonte: dados da pesquisa.

A tecnologia tem sido uma aliada fundamental na evolução das operações portuárias no Brasil. Entre as inovações que têm ganhado destaque, as câmeras se destacam como ferramentas essenciais para o monitoramento e aprimoramento dessas operações, como evidenciado em relatórios de diversas empresas: Vale

(2022), Companhia Docas do Rio de Janeiro (2022), Mineração Rio do Norte (2021), Companhia Docas do Espírito Santo (2018) e Usiminas (2022).

O uso de câmeras para monitorar áreas portuárias tem sido uma das maiores inovações recentes. Essas câmeras de alta tecnologia não apenas capturam imagens em alta resolução, mas também são integradas a sistemas de radar, aplicados no auxílio do monitoramento ambiental de áreas costeiras (Themistocleous et al., 2019).

Além da segurança, as câmeras têm contribuído significativamente para melhorar a eficiência operacional. Elas possibilitam o acompanhamento em tempo real da operação de equipamentos, o fluxo de cargas e a qualidade das operações (Van Kol et al., 2021). As câmeras não são apenas ferramentas de monitoramento, mas também impulsionadoras da inovação. Empresas como a Usiminas têm liderado projetos para integrar inteligência artificial às câmeras, permitindo a detecção automatizada de eventos e ações específicas. Isso é um exemplo claro de como a tecnologia está impulsionando a inovação nas operações portuárias (Usiminas, 2022).

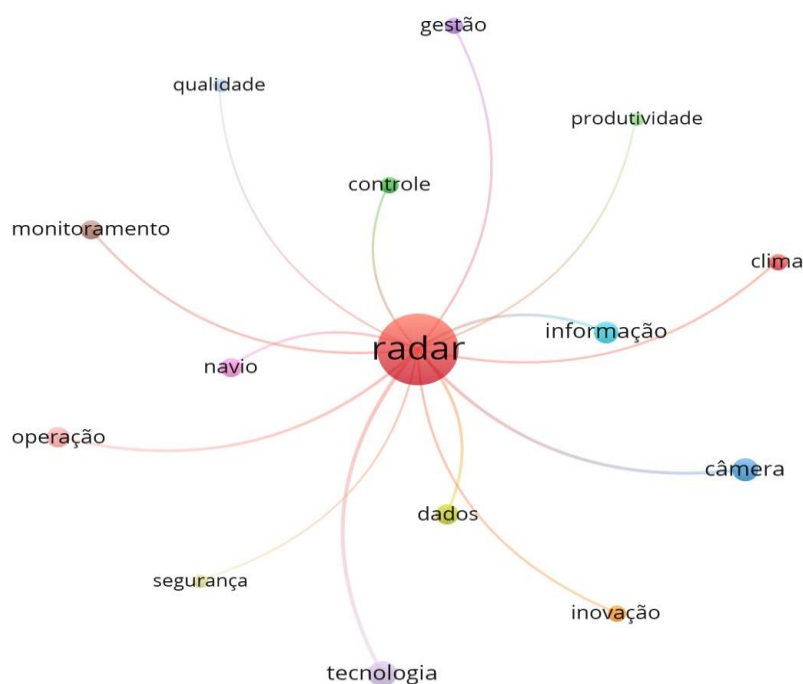
As câmeras também desempenham um papel importante na promoção da sustentabilidade (Van Kol et al., 2021). O monitoramento contínuo das operações ajuda a identificar áreas de melhoria, reduzindo o desperdício e minimizando impactos ambientais (Molavi et al., 2019). Com o potencial de capturar dados valiosos, as câmeras têm o poder de impulsionar ganhos significativos em eficiência, segurança e qualidade. Com visão centralizada das áreas portuárias, os operadores têm maior controle sobre as operações, o que se traduz em melhorias visíveis (Pagano et al., 2022). As câmeras estão desempenhando um papel crucial na transformação das operações portuárias no Brasil. Elas não apenas aumentam a segurança, mas também melhoram a eficiência, a qualidade e a sustentabilidade (Molavi et al., 2019).

A aplicação de radares desempenha um papel vital na gestão de tráfego marítimo. Eles permitem o acompanhamento preciso das embarcações, ajudando a evitar colisões, otimizar a atracação e garantir o fluxo eficiente de navios dentro e fora do porto. Isso não apenas aumenta a segurança, mas também reduz os tempos de espera, economizando tempo e recursos como mencionado no relatório integrado da Vale, que os aplica para a detecção de movimentos milimétricos em barragens de rejeitos (Vale, 2022). Na Companhia Docas do Rio de Janeiro, onde o mesmo é implementado para auxiliar no CITRA com vistas a possibilitar a integração de dados do Sistema de Identificação Automática (AIS), câmeras e radares da Marinha do Brasil (Companhia Docas do Rio de Janeiro, 2022), no relatório de sustentabilidade da VLI

(2021) a aplicação de radares é descrita como elemento da arquitetura de uma plataforma tecnológica para nowcasting auxiliando na previsão de condições climáticas adversas que possa impactar as movimentações, essa informação é fornecida com precisão de 5 minutos (VLI, 2021), No Complexo do Pecém esses dispositivos são aplicados no sentido de proporcionar o controle de acesso de embarcação e assim, melhorar a segurança portuária (Complexo do Pecém, 2022), de acordo com o relatório da Amaggi os radares também são aplicados como parte da arquitetura da plataforma para nowcasting para a previsão de condições meteorológicas (Amaggi, 2021) e no relatório da Companhia Docas do Espírito Santo, o radar é descrito como parte da arquitetura do Vessel Traffic Management (Companhia Docas do Espírito Santo, 2018). Fica evidente a contribuição desses dispositivos principalmente para o aumento da segurança das operações.

A Figura 11 e a Tabela 6 enfatizam a relevância da tecnologia de radar, bem como as temáticas correlatas — Tecnologia, Câmera, Informação e Operações — evidenciando a gama de aplicações e os impactos decorrentes da adoção dessa tecnologia. Estes dados ilustram como o radar, alinhado a sistemas de câmeras e gestão da informação, contribui para a otimização das operações portuárias.

Figura 11 - Temáticas ligadas aos radares



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 6 - Temáticas ligadas aos radares

Rank	Palavras	Frequência
1	Tecnologia	10
2	Câmera	8
3	Informação	7
4	Dados	6
5	Operação	6
6	Navio	5
7	Monitoramento	5
8	Inovação	4
9	Clima	4
10	Controle	4
11	Gestão	4
12	Segurança	3
13	Produtividade	3
14	Qualidade	3

Fonte: dados da pesquisa.

Os radares são iniciativas de monitoramento. Eles têm a capacidade de rastrear embarcações, condições climáticas e até mesmo o tráfego nas áreas portuárias. Essas informações são essenciais para garantir operações seguras e eficientes mitigando e prevenindo impactos ambientais oriundos de falhas na segurança das operações (Abou El-Magd et al., 2020 e Abou El-Magd et al., 2021). Em áreas portuárias, onde o fluxo de embarcações e carga é constante, os radares desempenham um papel fundamental na otimização das operações. Eles fornecem informações precisas sobre as condições do mar e a localização das embarcações, permitindo que os operadores tomem decisões informadas em tempo real (Pagano et al., 2022).

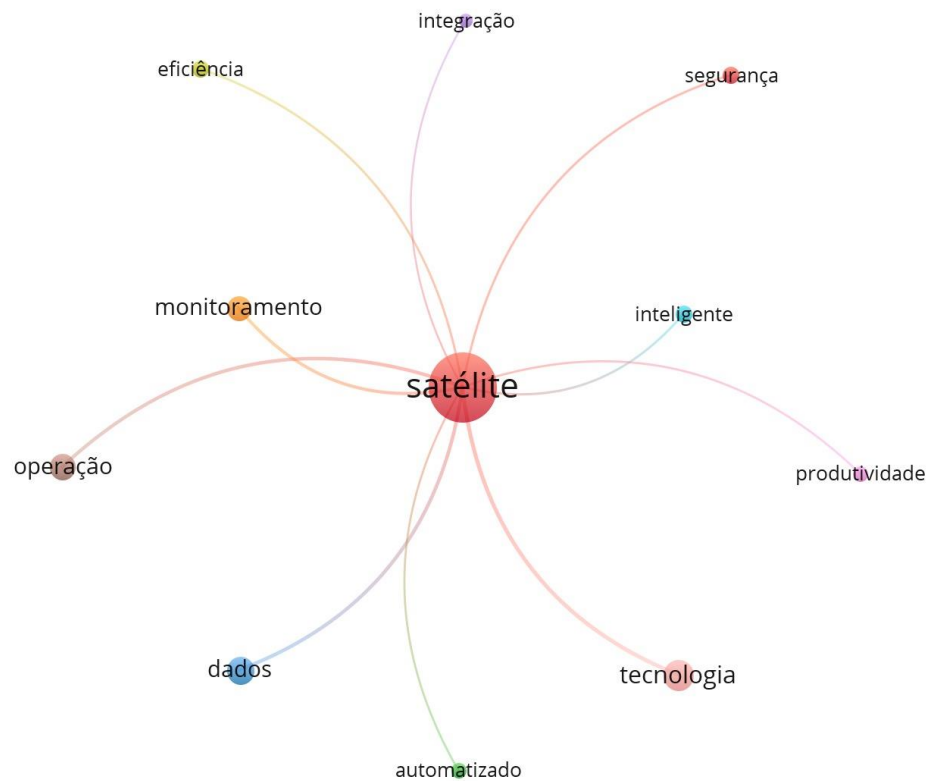
Os radares têm estimulado projetos inovadores nos portos brasileiros. A integração de radares com sistemas de inteligência artificial, por exemplo, permite a detecção automatizada de situações de risco, aumentando ainda mais a segurança das operações (Companhia Docas do Espírito Santo, 2018; Complexo do Pecém, 2021; Amaggi, 2021; Vale, 2022 e Companhia Docas do Rio de Janeiro, 2022). Os radares não são apenas instrumentos de monitoramento, mas também ferramentas de gestão. Eles podem ser usados para controlar o acesso de embarcações às áreas portuárias, garantindo que apenas navios autorizados entrem, o que é vital para a segurança, além disso, os radares são ferramentas em constante evolução. À medida

que a tecnologia avança, novas funcionalidades são adicionadas, o que possibilita melhorias contínuas nas operações portuárias (Pagano et al., 2022). As operações portuárias eficientes e seguras resultam em clientes satisfeitos. Além disso, o uso eficiente dos recursos, graças ao monitoramento preciso do radar, contribui para a sustentabilidade das operações, reduzindo o impacto ambiental (Abou El-Magd et al, 2020 e Abou El-Magd et al., 2021).

Os satélites desempenham um papel essencial na coleta de dados e monitoramento ambiental. Eles fornecem informações amplas sobre as condições oceânicas, permitindo que as empresas portuárias tomem medidas proativas para minimizar impactos ambientais. Além disso, a conectividade via satélite possibilita a comunicação eficaz em áreas remotas, melhorando a coordenação entre todas as partes envolvidas nas operações portuárias como segue, temos evidências dos relatórios de sustentabilidade de sua aplicação como Na Transpetro que descreve a utilização de nanosatélites aliados a IA em suas operações (Transpetro, 2021), Na VLI (2021) como já mencionado, verifica-se a aplicação da plataforma para nowcasting e os satélites fazem parte de sua arquitetura (VLI, 2021), Na Companhia Docas da Bahia os satélites são aplicados para auxiliar na modelagem de linhas costeiras (Companhia Docas da Bahia, 2021) e Na Mineração Rio do Norte onde os satélites são parte da arquitetura da sala de monitoramento de barragens contribuindo para a segurança das suas operações (Mineração Rio do Norte, 2021).

A Figura 12 e a Tabela 7 ressaltam a importância da tecnologia de satélites e as temáticas correlatas frequentemente discutidas, que abrangem tecnologia, dados, operações e monitoramento. Esses elementos sublinham o papel vital dos satélites na coleta e transmissão de dados indispensáveis à eficácia e segurança das operações portuárias, bem como no acompanhamento contínuo das atividades marítimas e dos impactos do clima nas zonas costeiras. Os satélites contribuem para o monitoramento de zonas costeiras, com a capacidade de tirar fotos detalhadas de vastas extensões de terra e água, eles fornecem informações críticas para a gestão de zonas costeiras, ajudam a rastrear mudanças na linha da costa ao longo do tempo permitindo que os gestores tomem medidas preventivas para proteger essas áreas, além disso, os satélites fornecem informações críticas sobre a segurança das estruturas, ajudando a evitar desastres (Themistocleous et al., 2019).

Figura 12 - Temáticas ligadas aos satélites



Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 7 - Temáticas ligadas aos satélites

Rank	Palavras	Frequência
1	Tecnologia	21
2	Dados	17
3	Operação	16
4	Monitoramento	13
5	Eficiência	7
6	Segurança	7
7	Inteligente	7
8	Automatizado	6
9	Produtividade	6
10	Integração	5

Fonte: dados da pesquisa.

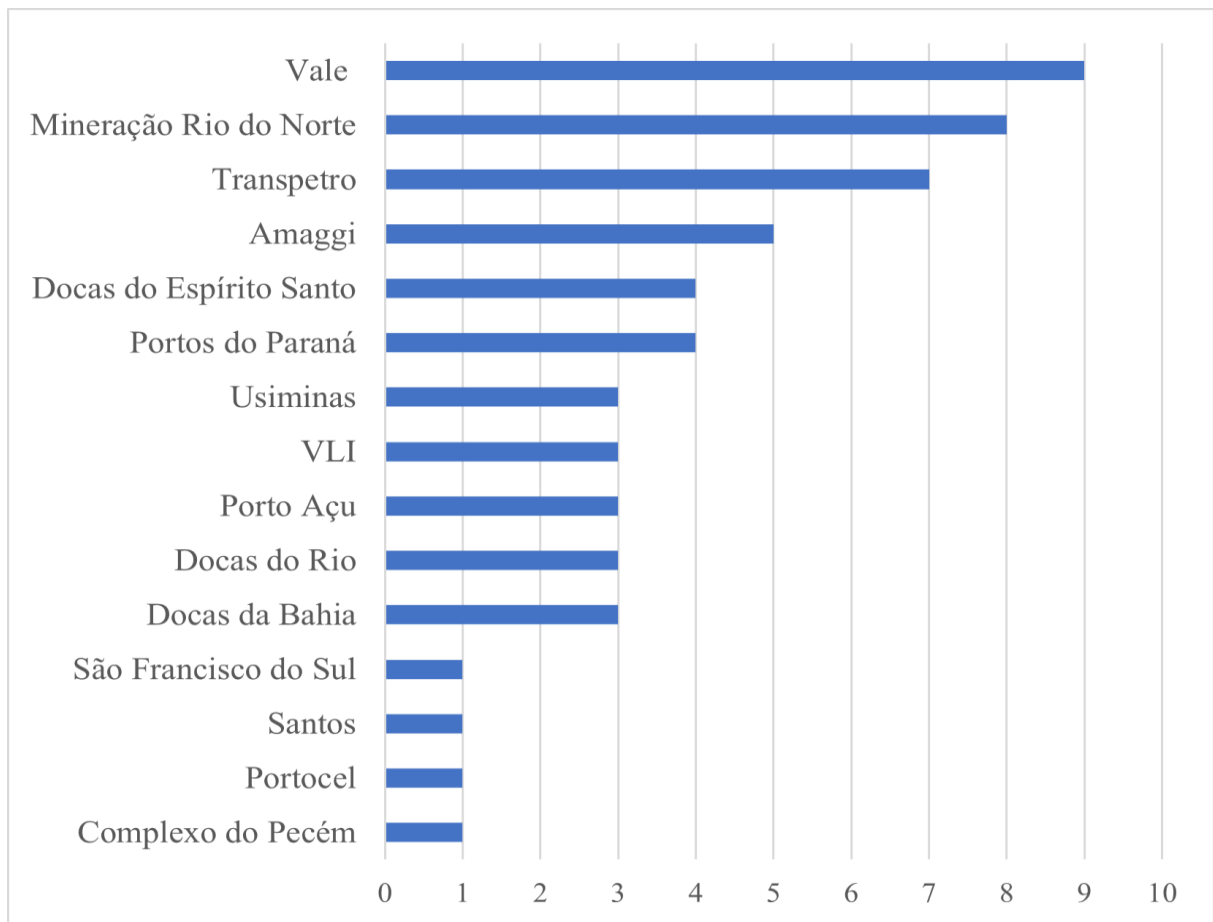
Essa crescente adoção de tecnologias habilitadoras não apenas aprimora as operações atuais, mas também prepara o terreno para a implementação de tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas, blockchain e inteligência artificial. Ao demonstrar os benefícios dessas tecnologias estabelecidas, as empresas

portuárias estão mais dispostas a explorar soluções inovadoras que impulsionem ainda mais a eficiência, a segurança e a sustentabilidade em seus portos (Pagano et al., 2022).

Observa-se que existem empresas no setor que se destacam na aplicação de tecnologias em seus processos conforme evidenciado na Figura 13. O destaque das empresas Vale, Transpetro, Amaggi e Mineração Rio do Norte por apresentarem de forma mais frequente a aplicação de tecnologias emergentes em seus relatórios de sustentabilidade é atribuído a diversos fatores. Primeiramente, essas empresas se destacam em seus respectivos setores, o que naturalmente as coloca em destaque na adoção de inovações tecnológicas. Essa posição de destaque é atribuída a um compromisso estratégico com a inovação como parte de suas estratégias de negócios (Transpetro, 2021; Amaggi, 2021; Mineração Rio do Norte, 2021; Vale, 2022).

Além disso, a natureza das operações dessas empresas pode exigir a aplicação de tecnologias emergentes para otimizar processos e garantir a sustentabilidade de suas atividades. No caso da Vale, que atua no setor de mineração e logística, a automação e a digitalização de processos são cruciais para melhorar a eficiência e reduzir os impactos ambientais (Vale, 2022). A Transpetro, como uma empresa de transporte e logística de combustíveis, precisa constantemente inovar para garantir a segurança e a eficiência das operações (Transpetro, 2021). Outro fator a considerar é o compromisso dessas empresas com a responsabilidade socioambiental. A divulgação de tecnologias emergentes em seus relatórios de sustentabilidade é parte de uma estratégia de transparência e prestação de contas, demonstrando seu compromisso com práticas sustentáveis (Transpetro, 2021; Amaggi, 2021; Mineração Rio do Norte, 2021; Vale, 2022).

Figura 13 - Rank das empresas na aplicação das tecnologias



Fonte: dados do estudo.

O acesso a recursos financeiros e capacidade de investimento também é indicado como um fator determinante. Empresas de grande porte, como a Vale, Transpetro, Amaggi e Mineração Rio do Norte têm maior capacidade de alocar recursos para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras. Isso lhes permite explorar um espectro mais amplo de soluções tecnológicas e, conseqüentemente, apresentá-las em seus relatórios de sustentabilidade (Transpetro, 2021; Amaggi, 2021; Mineração Rio do Norte, 2021; Vale, 2022).

5 APLICAÇÃO PRÁTICA NOS PROCESSOS DA VALE

5.1 Aplicação nas operações ferroviárias

O monitoramento de operações e ativos é uma peça fundamental para a operação eficaz e eficiente das indústrias atuais garantindo a confiabilidade operacional e desempenha um papel fundamental na segurança. Ele pode ajudar a identificar e mitigar riscos potenciais, evitando acidentes e lesões. Em um cenário de negócios cada vez mais competitivo e orientado por dados, as empresas enfrentam a pressão de manter seus ativos, sejam eles máquinas, equipamentos, veículos ou infraestrutura, em pleno funcionamento e otimizados e essa demanda torna o monitoramento de ativos uma prioridade para organizações e é possibilitado pela IoT, buscando manter a competitividade, a segurança e a eficiência em seus processos como mencionado nos estudos de Bayoumi et al. (2020); Gao et al. (2022) e Remondino e Zanin (2022). Para a eficiência energética, monitorar o consumo de energia de ativos como máquinas e veículos pode levar a melhorias significativas, reduzindo os custos e o impacto ambiental (Aslam et al., 2020).

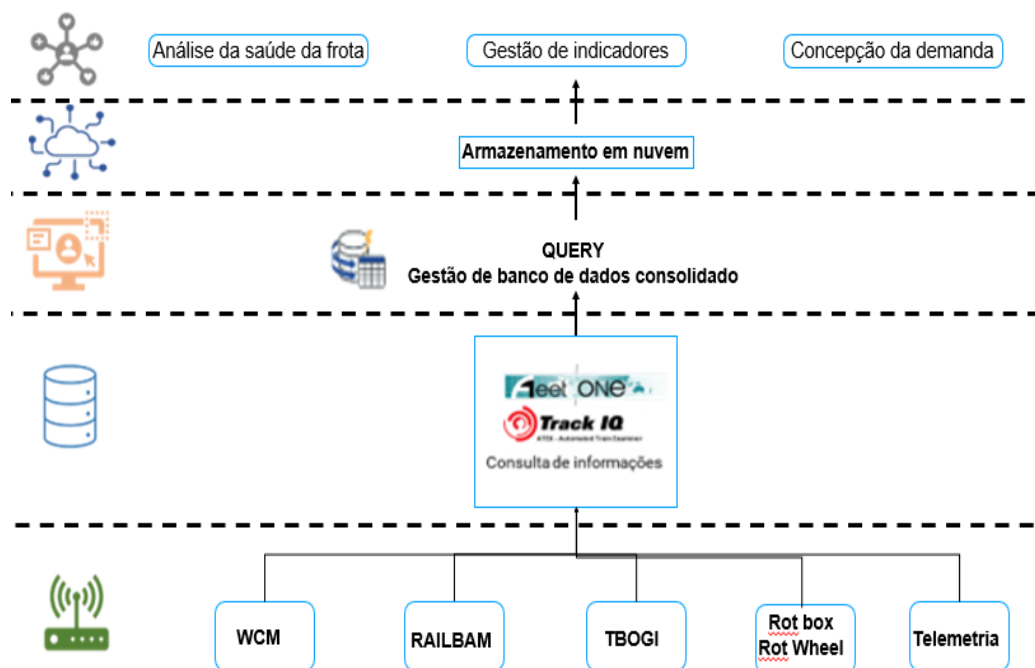
A indústria ferroviária desempenha um papel fundamental na movimentação de cargas, o que a torna essencial para a economia brasileira (Betarelli et al., 2020). Dentro desse contexto, os ativos rodantes, que incluem locomotivas, vagões, máquinas de via e carros de passageiros, são minuciosamente monitorados ao longo das extensas ferrovias. Essa vigilância constante é possibilitada por dispositivos que coletam dados essenciais e os transmitem em tempo real para plataformas de armazenamento de dados estruturadas (Al-Fuqaha et al., 2015). A seguir são descritas diversas aplicações que fazem parte do ambiente profissional do altor.

Diversos equipamentos se destacam nesse processo. O *Wheel Condition Monitor* (WCM), por exemplo, é instalado nas margens das ferrovias e é equipado com sensores que medem as forças exercidas sobre as rodas, bem como sobrecargas e desequilíbrios no peso do material rodante. O *Railway Bearing Acoustic Monitor* (RAILBAM) é um sistema que utiliza sensores de rodas e microfones para detectar e classificar defeitos, além de fornecer relatórios de condições e alertas antecipados de possíveis falhas.

Outros sistemas, como o *Hot Box Detector* e o *Hot Wheel Detector*, monitoram a temperatura das rodas e rolamentos por meio de sensores de infravermelho e sistemas de detecção de aproximação de trens. Já o *Truck Bogie Optical Geometry* (TBOGI) utiliza tecnologia laser, câmeras e sensores de rodas para medir o ângulo de ataque, a posição dos rodeiros em relação à via e quaisquer imperfeições que possam gerar problemas nos trilhos e no material rodante.

Um recurso de extrema importância para o planejamento da manutenção é a telemetria da frota de locomotivas. Essa tecnologia permite o monitoramento em tempo real dos ativos, coletando dados do funcionamento dos sistemas das locomotivas por meio de sensores instalados em seus componentes. Esses parâmetros coletados são monitorados e analisados para prever falhas, possibilitando o planejamento eficiente da manutenção e reduzindo a perda de produção devido à indisponibilidade dos ativos. A inteligência artificial também desempenha um papel crucial na identificação de falhas nos eixos dos materiais rodantes. Softwares de visão computacional tornam as análises da inteligência artificial visíveis, tornando possível a detecção de falhas de diagnóstico e a geração de relatórios a partir dos dados fornecidos pela equipe de manutenção preditiva.

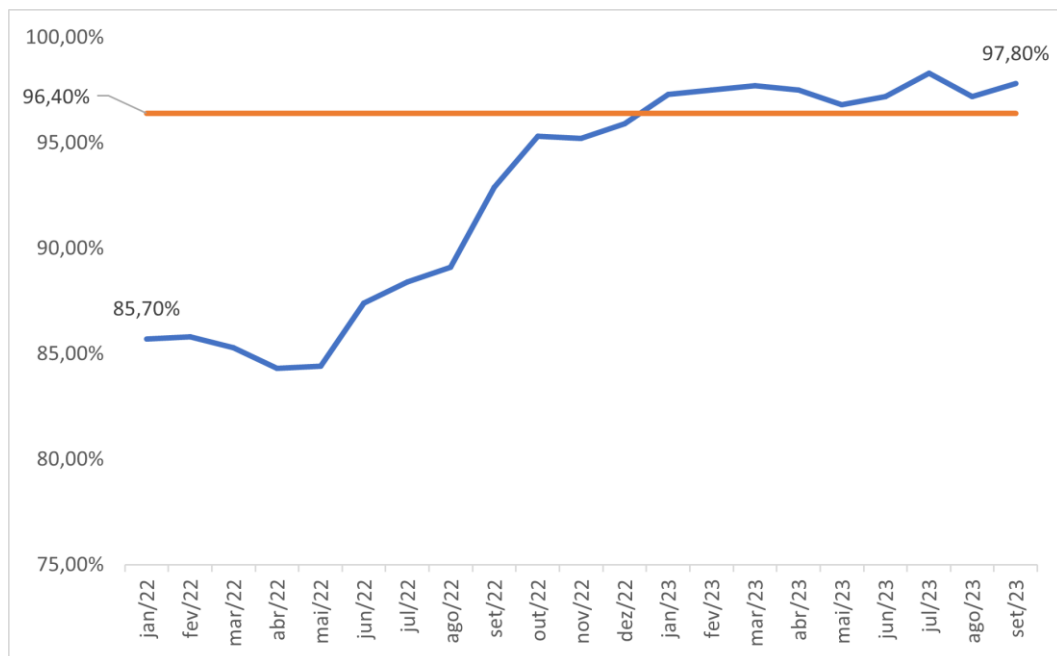
Figura 14 - Arquitetura do centro de monitoramento de ativos



Fonte: Centro de monitoramento de ativos. Vale (2022).

O sistema de monitoramento de ativos rodantes é composto por uma arquitetura que incorpora diversas tecnologias emergentes conforme a Figura 14. Os dispositivos mencionados são responsáveis pela coleta de dados, que são armazenados em plataformas de big data. Esses dados são processados e disponibilizados por meio de armazenamento em nuvem e, em seguida, são estratificados e apresentados de forma gráfica, tornando-os acessíveis para a tomada de decisões embasadas em informações sólidas.

Figura 15 - Evolução da saúde da frota de materiais rodantes



Fonte: Centro de monitoramento de ativos. Vale (2022).

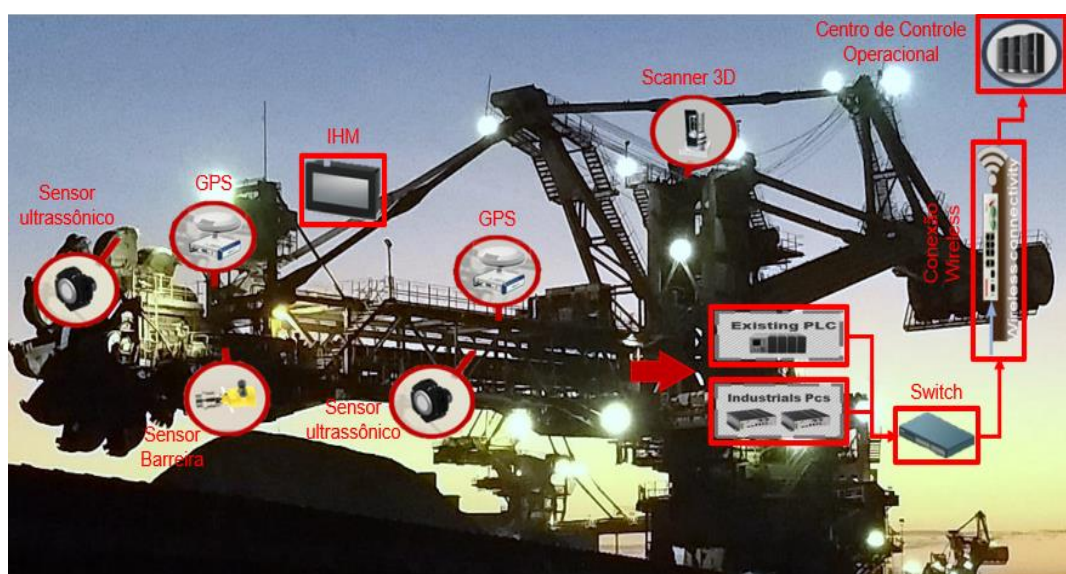
Desde o início das operações do sistema de monitoramento em 2022, a saúde da frota de materiais rodantes melhorou significativamente. A taxa de confiabilidade, que estava em 85,7%, aumentou para impressionantes 97,8% até 2023 conforme a Figura 15. Esses avanços têm se mostrado cruciais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações ferroviárias, contribuindo de maneira significativa para a sustentabilidade dessas operações.

5.2 Aplicação no terminal portuário de ponta da madeira

No cenário atual do setor portuário, a implementação de tecnologias avançadas tem desempenhado um papel fundamental na busca por maior segurança e eficiência nas operações de carregamento de navios. Uma ilustração notável desses avanços pode ser observada na recente introdução da operação de carregadores de navios em um porto operado pela Vale.

Em uma entrevista com um gestor do setor portuário, torna-se evidente a incorporação significativa de tecnologias de ponta para aprimorar as operações de carregamento de navios. Os carregadores de navios agora são equipados com um conjunto diversificado de dispositivos tecnológicos, os quais desempenham um papel crucial na otimização e segurança desses processos conforme Figura 16.

Figura 16 - Dispositivos habilitadores da operação remota do carregador de navios



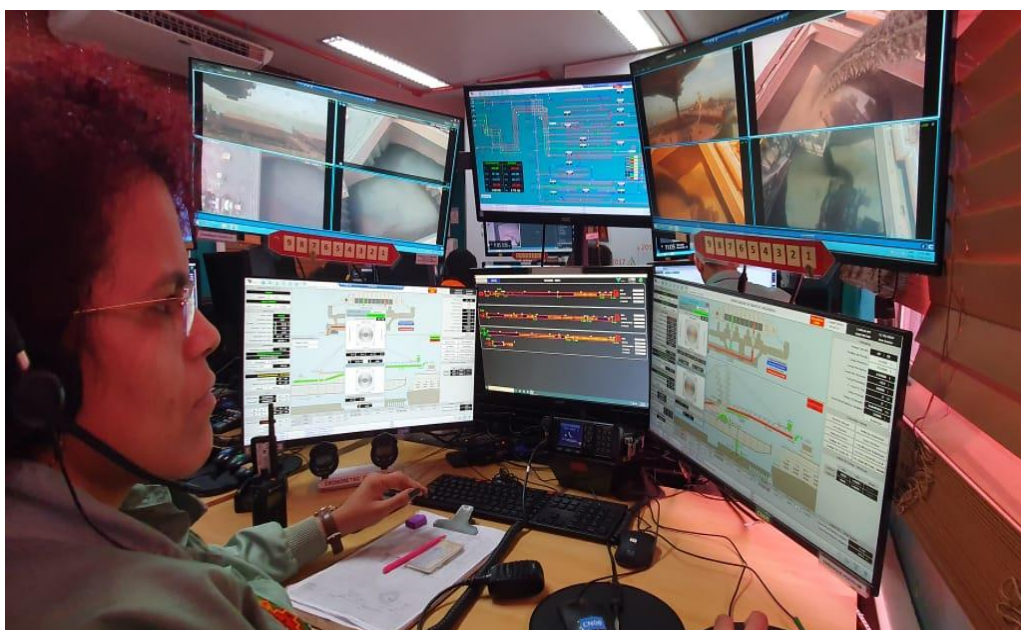
Fonte: Coordenação de processos operacionais portuários. Vale (2023).

Um dos principais componentes tecnológicos incorporados nesses carregadores de navios são os sensores ultrassônicos. Esses sensores têm a capacidade de realizar medições precisas em tempo real, fornecendo informações vitais sobre o posicionamento e a carga durante as operações de carregamento. Em conjunto com o sistema GPS, esses sensores garantem um acompanhamento detalhado da localização e movimento do navio, contribuindo para uma operação mais segura e eficiente.

Além disso, o uso de scanners 3D apresenta-se como outra inovação notável. Essa tecnologia permite a criação de representações tridimensionais detalhadas da área de carga, proporcionando uma visão abrangente e precisa do espaço disponível e da disposição da carga no navio. Essa visualização detalhada auxilia na otimização do carregamento, minimizando o risco de incidentes e garantindo uma distribuição equilibrada da carga.

A integração de uma conexão sem fio que vincula os dispositivos no carregador de navios a uma sala de controle remoto (Figura 17) é uma das facetas mais revolucionárias desses avanços tecnológicos. Essa conectividade permite a supervisão e o controle remoto das operações, oferecendo a capacidade de intervenção imediata em caso de qualquer anomalia ou necessidade de ajuste. Essa abordagem remota das operações não apenas aumenta a segurança, mas também a eficiência operacional, reduzindo os tempos de inatividade e minimizando os riscos associados à presença humana em áreas de alto risco.

Figura 17 - Sala de controle remoto



Fonte: Coordenação de processo operacionais portuários. Vale (2023).

Em resumo, a implementação dessas tecnologias avançadas nos carregadores de navios no porto da Vale representa um marco significativo na modernização e segurança das operações portuárias. A convergência desses recursos tecnológicos – sensores ultrassônicos, GPS, scanners 3D e conectividade sem fio – tem contribuído

para aprimorar a precisão, eficiência e segurança das atividades de carregamento de navios, demonstrando um compromisso contínuo com a excelência operacional e a inovação tecnológica no setor portuário.

6 CONCLUSÃO

O estudo bibliométrico conduzido neste trabalho revelou um evidente interesse do setor em aprimorar a sustentabilidade e eficiência dos portos, mediante a aplicação de tecnologias emergentes da Indústria 4.0. Entre as tecnologias investigadas, a Internet das Coisas se sobressaiu como uma das mais significativas, possibilitando a interconexão e comunicação entre dispositivos, coleta de dados em tempo real e facilitando decisões mais sustentáveis e eficientes no âmbito portuário. A Internet das Coisas também tem um papel fundamental na automação de processos, minimizando erros operacionais e aumentando a eficiência das operações portuárias. Outra tecnologia mencionada no estudo foi a IA que se destaca por aprimorar a tomada de decisões e a eficiência operacional nos portos, frequentemente, a IA é integrada à Internet das Coisas para processar dados, identificar padrões complexos e otimizar a logística, além de permitir a implementação de sistemas autônomos na transformação digital dos portos. A inteligência artificial, aliada aos sistemas autônomos, pode favorecer a redução das emissões de gases poluentes e o uso otimizado de recursos energéticos. Ademais, a aplicação de tecnologias de monitoramento em tempo real pode auxiliar na identificação e mitigação de riscos ambientais, fomentando um ambiente portuário mais seguro e sustentável.

Quanto à predominância geográfica nos artigos examinados, constata-se um destaque para estudos relacionados aos portos europeus, principalmente de países como Alemanha, Holanda, Grécia e Espanha. Essas nações possuem uma forte tradição no transporte marítimo e portos. Os Estados Unidos também se destacam, com um avançado ecossistema de inovação, composto por universidades renomadas e empresas de tecnologia de vanguarda.

A análise dos relatórios de sustentabilidade dos portos brasileiros revela uma rede complexa de tecnologias interconectadas que estão transformando as operações portuárias no país. Tecnologias como radar, data lake, telemetria, vessel traffic service, realidade aumentada, entre outras, estão desempenhando papéis multifuncionais, desde o monitoramento ambiental até a gestão do tráfego marítimo e a otimização operacional. Essas tecnologias não apenas melhoram a eficiência e a segurança das operações, mas também contribuem para a sustentabilidade ao permitir a detecção precoce de problemas e a redução de impactos ambientais. Além disso, elas preparam o terreno para a adoção de tecnologias emergentes, como

Internet das Coisas e aprendizado de máquina, que prometem impulsionar ainda mais a eficiência e a inovação no setor portuário.

As empresas Vale, Transpetro, Amaggi e Mineração Rio do Norte, estão na vanguarda dessas inovações, impulsionadas por seu compromisso com a excelência operacional e a responsabilidade socioambiental. Sua capacidade de adotar tecnologias emergentes reflete seu compromisso com a busca contínua por soluções que beneficiem não apenas suas operações, mas também o setor como um todo.

Em última análise, as tecnologias destacadas nos relatórios de sustentabilidade dos portos brasileiros representam um passo significativo em direção a operações portuárias mais eficientes, seguras e sustentáveis, apesar do status evidenciado no contexto do setor portuário brasileiro está voltado ainda para a aplicação de tecnologias habilitadoras, elas exemplificam como a inovação tecnológica está desempenhando um papel fundamental na transformação de um setor fundamental para a economia do Brasil e sua conectividade global. Essas inovações são uma demonstração do compromisso do Brasil em se manter competitivo e sustentável em um mundo cada vez mais interconectado e tecnologicamente avançado.

No que se refere as limitações do estudo, destaca-se a dificuldade encontrada foi o fato de que os relatórios de sustentabilidade das empresas contêm informações gerais de todas as suas operações e não fica limitadas as operações portuárias e dessa forma com análise desses documentos não foi possível distinguir as tecnologias aplicadas exclusivamente nas operações portuárias das empresas selecionadas.

Algumas oportunidades de estudos futuros podem ser importantes para o desenvolvimento da temática com um estudo detalhado para avaliar o impacto real das tecnologias emergentes (Internet das Coisas e aprendizado de máquina na eficiência, segurança e sustentabilidade das operações portuárias brasileiras). Isso poderia envolver análises de custo-benefício e estudos de caso específicos, investigar como as tecnologias mencionadas estão sendo adotadas por portos de menor porte no Brasil. As autoridades portuárias estão incorporando essas inovações ou enfrentam barreiras específicas? Uma pesquisa pode ser realizada para entender como as várias tecnologias mencionadas (radar, data lake, telemetria, realidade aumentada etc.) estão sendo integradas e coordenadas nos portos brasileiros. Isso pode incluir desafios de interoperabilidade e melhores práticas, investigar como essas tecnologias estão afetando a sustentabilidade a longo prazo dos portos brasileiros. Isso poderia incluir uma análise das tendências de redução de impacto ambiental ao

longo de vários anos, uma comparação entre a adoção de tecnologia nos portos e em outros setores de transporte no Brasil (ferrovias, rodovias aeroportos) pode ser realizada para avaliar o progresso relativo em direção à inovação tecnológica, uma análise das políticas públicas que incentivam ou dificultam a adoção de tecnologia nos portos brasileiros poderia ser conduzida. Isso incluiria uma avaliação das políticas de financiamento e regulamentações relacionadas, uma pesquisa pode explorar como as inovações tecnológicas nos portos estão afetando as comunidades locais em termos de empregos, meio ambiente e qualidade de vida, com a crescente dependência de tecnologias digitais, investigar a cibersegurança nos portos brasileiros é fundamental. Como esses portos estão protegendo suas infraestruturas contra ameaças cibernéticas? Com a introdução de tecnologias avançadas, em se tratando de realidade aumentada, como os trabalhadores portuários estão sendo treinados e capacitados para usá-las efetivamente? São necessários estudos sobre estratégias de treinamento, uma comparação entre as inovações tecnológicas nos portos brasileiros e em portos de outros países pode fornecer elementos valiosos sobre o progresso e desafios enfrentados pelo Brasil. Esses tópicos de pesquisa podem ajudar a aprofundar nossa compreensão das inovações tecnológicas nos portos brasileiros e identificar áreas onde mais esforços de pesquisa e desenvolvimento são necessários para melhorar ainda mais a eficiência, segurança e sustentabilidade desse setor crucial.

REFERÊNCIAS

- Abou El-Magd, I., Zakzouk, M., Abdulaziz, A. M., & Ali, E. M. (2020). The Potentiality of Operational Mapping of Oil Pollution in the Mediterranean Sea near the Entrance of the Suez Canal Using Sentinel-1 SAR Data. *Remote Sensing*, 12(8), 13. doi:10.3390/rs12081352
- Abou El-Magd, I., Zakzouk, M., Ali, E. M., & Abdulaziz, A. M. (2021). An Open-Source Approach for Near-Real Time Mapping of Oil Spills along the Mediterranean Coast of Egypt. *Remote Sensing*, 13(14), 14. doi:10.3390/rs13142733
- Agência nacional de transporte aquaviário (Antaq) (2023). Estatístico aquaviário – Antaq. <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/movport.html#>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376. doi: 10.1109/COMST.2015.2444095
- Amaggi. (2021). Relatório ESG 2021. https://www.amaggi.com.br/wp-content/uploads/2022/10/amaggi_relatorio_sustentabilidade_2021-1.pdf
- Antelo, L. T., Ordonez, T., Franco-Uria, A., Gomez-Gesteira, J. L., Fernandez-Canamero, M. L., Perez, N., . . . Ieee. (2011, Jun 06-09). Promoting an Optimal Networking of Fishing Actors to Organize a Responsible, Optimal and Sustainable Exploitation of Marine Resources: the FAROS Initiative. Paper presented at the IEEE OCEANS Conference, Santander, SPAIN. doi: 10.1109/Oceans-Spain.2011.6003543
- Aslam, S., Michaelides, M. P., & Herodotou, H. (2020). Internet of Ships: A Survey on Architectures, Emerging Applications, and Challenges. *Ieee Internet of Things Journal*, 7(10), 9714-9727. doi:10.1109/JIOT.2020.2993411
- Batalha, E., Chen, S. L., Pateman, H., & Zhang, W. (2020). The meaning of corporate social performance in seaports: the managers' perspective. *Wmu Journal of Maritime Affairs*, 19(2), 183-203. doi:10.1007/s13437-020-00201-3
- Batalha, E., Chen, S. L., Pateman, H., & Zhang, W. (2023). Defining a Social Role for Ports: Managers' Perspectives on Whats and Whys. *Sustainability*, 15(3), 22. doi:10.3390/su15032646
- Bayoumi, E., Elgazzar, S., & Obrecht, M. (2020). Investigating the impact of internet of things on Egyptian ports sustainability. Paper presented at the 8th International Conference on Advanced Materials and Systems, ICAMS. <https://doi.org/10.24264/icams-2020.III.3>
- Betarelli Jr, A. A., Domingues, E. P., & Hewings, G. J. D. (2020). Transport policy, rail freight sector and market structure: The economic effects in Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 135, 1-23. doi: 10.1016/j.tra.2020.02.018
- Branco, J. E. H., Bartholomeu, D. B., Junior, P. N. A., & Caixeta Filho, J. V. (2022). Evaluation of the economic and environmental impacts from the addition of new railways to the brazilian's transportation network: An application of a network equilibrium model. *Transport Policy*, 124, 61-69. doi: 10.1016/j.tranpol.2020.03.011
- Casagrande, J. L., Teixeira, A. T., & Ieee. (2019). Mobile port a disruptive solution for transporting grain in Brazil. Paper presented at the European Navigation Conference (ENC), Warsaw, POLAND. doi: 10.1109/EURONAV.2019.8714185
- Cavalli, L., Lizzi, G., Guerrieri, L., Querci, A., De Bari, F., Barbieri, G., Ferrini, S., Di Meglio, R., Cardone, R., Tardo, A., Pagano, P., Tesei, A., & Lattuca, D. (2021).

- Addressing Efficiency and Sustainability in the Port of the Future with 5G: The Experience of the Livorno Port. A Methodological Insight to Measure Innovation Technologies' Benefits on Port Operations. *Sustainability* 13(21), 12146. <https://doi.org/10.3390/su132112146>
- Companhia Docas da Bahia. (2021). Relatório integrado de sustentabilidade 2021. https://codeba.gov.br/eficiente/repositorio/Sustentabilidade/relatorio_integrado/18179.pdf
- Companhia Docas do Espírito Santo. (2018). Relatório Anual de Atividades dos Setores de Gestão Ambiental, Saúde e Segurança da Codesa. https://vports.com.br/scriptcase/file/doc/codesa_arquivos/relatorio%20de%20sustentabilidade%202018.pdf
- Companhia Docas do Rio de Janeiro. (2022). Relatório anual 2022. https://www.portosrio.gov.br/sites/default/files/2023-03/portosrio_relatorio_anual_2022_vfinal_consad_confis.pdf
- Complexo do Pecém. (2021). Relatório de sustentabilidade 2021. <https://www.complexodopecem.com.br/wpcontent/uploads/2022/12/Relato%CC%81rio-de-Sustentabilidade-2021-Complexo-do-Pece%CC%81m.pdf>
- Cutrim, S. S., Botter, R. C., & Robles, L. T. (2018). Proposal for a new port governance model for brazil. *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen*, 11, 200-221. doi:10.19177/reen.v11e0l2018200-221
- De Albuquerque, C. E. P., Machado, R. C. S., de Sa, A. O., de Toledo, C. R. B., & Ieee. (2022). Bibliometric Analysis on Cyber-Attacks in Naval Sensors and Systems. Paper presented at the IEEE International Workshop on Metrology for the Sea Learning to Measure Sea Health Parameters (MetroSea), Milazzo, ITALY. doi: 10.1109/MetroSea55331.2022.9950939
- De Moura, D. A. de. (2022). Analysis of industry 4.0 and their impact on port environmental management. *Independent Journal of Management & Production*, 13(5), 1168-1190. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v13i5.1658>
- De Souza, F. L. U., Larranaga, A. M., Palma, D., & Pitombo, C. S. (2022). Modeling travel mode choice and characterizing freight transport in a Brazilian context. *Transportation Letters*, 14(9), 983-996. doi: 10.1080/19427867.2021.1976011
- Derrig, R. (2022). Inspecting Ships Autonomously under Port State Jurisdiction: Towards Sustainability and Biodiversity in the EU. *International Journal of Marine and Coastal Law*, 37(3), 529-551. doi:10.1163/15718085-bja10097
- Dominguez, G. D., Gorges, S. C., & Silva, V. M. D. (2022). Roadmap for implementing smart practices at seaports and terminals. *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen*, 15, 73-96. doi: <https://doi.org/10.59306/reen.v15e202273-96>
- Dos Ramos Caldeirinha, V. M., & Nabais, J. L. (2021). The use of information technology in the innovation of port logistics systems/o uso da tecnologia da informacao na inovacao dos sistemas logísticos portuarios/el uso de tecnologia de la informacion en la innovacion de sistemas logísticos portuarios. *Revista Eletronica de Estrategia e Negocios*, 14(S1), 110-129.
- Dos Santos, A. S., Huber, A., Alves, C. F., Carbonari, N. I., & Buss, T. (2020). Operational plan formulation method in the context of port planning: a contribution for the elaboration of brazilian ports developing and zoning plans. *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen*, 13, 177-208. doi:10.19177/reen.v13e0l2020178-208
- Echeverry, A. X. H., Montoya-Torres, J. R., Richards, D., & Neira, N. O. (2015). Computational intelligence to support cooperative seaport decision-making in environmental and ecological sustainability. In: Vol. 9335. 6th International

- Conference on Computational Logistics, ICCL (pp. 510-525): Springer Verlag. doi: 10.1007/978-3-319-24264-4_35
- Gao, J., Sun, Y. H., Rameezdeen, R., & Chow, C. (2022). Understanding data governance requirements in IoT adoption for smart ports - a gap analysis. *Maritime Policy & Management*, 14. <https://doi.org/10.1080/03088839.2022.2155318>
- Garcia, B. T. D., Lopes, D. M. M., Leal, I. C., Amorim, J. C. C., da Silva, M. A. V., & Guimaraes, V. D. (2019). Analysis of the Performance of Transporting Soybeans from Mato Grosso for Export: A Case Study of the Tapajos-Teles Pires Waterway. *Sustainability*, 11(21), 26. doi:10.3390/su11216124
- Giusti, R., Iorfida, C., Li, Y. Y., Manerba, D., Musso, S., Perboli, G., . . . Yuan, S. (2019). Sustainable and De-Stressed International Supply-Chains Through the SYNCHRO-NET Approach. *Sustainability*, 11(4). doi:10.3390/su11041083
- González-Cancelas, N., Serrano, B. M., & Soler-Flores, F. (2019). Seaport sustainable: Use of artificial intelligence to evaluate liquid natural gas utilization in short sea shipping. *Transportation Journal*, 58(3), 197-221. doi:10.5325/transportationj.58.3.0197
- Heikkila, M., Saarni, J., & Saurama, A. (2022). Innovation in Smart Ports: Future Directions of Digitalization in Container Ports. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 24. <https://doi.org/10.3390/jmse10121925>
- Heilig, L., Lalla-Ruiz, E., & Voss, S. (2017). Multi-objective inter-terminal truck routing. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 106, 178-202. doi: 10.1016/j.tre.2017.07.008
- Iris, C., & Lam, J. S. L. (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies, and energy management systems. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 112, 170-182. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.069>
- Jaccoud, C., & Magrini, A. (2014). Regulation of solid waste management at Brazilian ports: Analysis and proposals for Brazil in light of the European experience. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2), 245-253. doi: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.006
- Kiyota, A. S., Yoshizaki, H. T. Y., & Massara, V. M. (2015). Analysis of greenhouse gases in the emissions of Brazilian freight transport. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 10(4), 438-440. doi: 10.1093/ijlct/ctt004
- Lacalle, I., Belsa, A., Vano, R., & Palau, C. E. (2020). Framework and Methodology for Establishing Port-City Policies Based on Real-Time Composite Indicators and IoT: A Practical Use-Case. *Sensors*, 20(15), 39. doi:10.3390/s20154131
- Lacalle, I., Llorente, M. Á., & Palau, C. E. (2019) Towards environmental impact reduction leveraging iot infrastructures: The PIXEL approach. In: Vol. 11874 LNCS. 12th International Conference on Internet and Distributed Computing Systems, IDCS 2019 (pp. 33-45): Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34914-1_4
- Lebedev, M. (2016). Automated Systems as a Part of Geotechnical Monitoring in Construction and Operation of Transport Tunnels. *Procedia Engineering*, 165, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.719>
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 58(4), 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2015.03.008>
- Lind, M., Hagg, M., Siwe, U., & Haraldson, S. (2016). Sea traffic management - beneficial for all maritime stakeholders. Paper presented at the 6th Transport Research Arena (TRA), Warsaw, POLAND. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.054>

- Madeira, A. G., Cardoso, M. M., Belderrain, M. C. N., Correia, A. R., & Schwanz, S. H. (2012). Multicriteria and multivariate analysis for port performance evaluation. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 450-456. doi: 10.1016/j.ijpe.2012.06.028
- Marques, B. D., Silva, M. S., Lopes, J. M., de Souza, A. L. R., Araujo, M. L. V., & de Aragao, I. M. (2021). Brazilian federal port governance and public policies for the sector: a theoretical test on the reflections in the organization of the institutional arrangement. *Revista Do Servico Publico*, 72(3), 583-612. doi:10.21874/rsp.v72.i3-5051
- Marques, E. R. N., & Lobo, E. (2019, Sep 09-11). Current situation of VTS systems in Brazil and challenges for its implementation. Paper presented at the 18th International Congress of the Maritime-Association-of-the-Mediterranean (IMAM), Varna, BULGARIA.
- McGinley, K. (2014). Preparing port container terminals for the future: Making the most of intelligent transport systems (ITS). Paper presented at the 20th International Conference on Urban Transport and the Environment, UT 2014, Algarve. doi: 10.2495/UT140351
- Mineração Rio do Norte. (2021). Sustentabilidade MRN 2021. https://www.mrn.com.br/images/relatorioadm/Relatorio_Sustentabilidade_MRN_2021.pdf
- Molavi, A., Lim, G. J., & Race, B. (2019). A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*. <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>
- Novaes, G. R., & Pereira, N. N. (2018). Can drones be an alternative for port management? *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen*, 11, 3-28. doi:10.19177/reen.v11e0120183-28
- Nunes, I. (2019). Do público ao privado: a transição do modelo de negócios ferroviários no Brasil 1930-2015. *Transporte y Territorio*, (20), 66-90. doi: 10.34096/rtt.i20.6384
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021). Main Science and Technology Indicators. OECD. <https://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=33210>
- Padua, P. C., Srivastava, P., de Martini, A. P., Alves, D. P. V., Gabel, V. S., Ferreira, P. A. D., & Jovane, L. (2022). A 140-year record of environmental changes in Sao Sebastiao, Brazil. *Science of the Total Environment*, 838, 14. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156578
- Pagano, P., Antonelli, S., & Tardo, A. (2022). C-Ports: A proposal for a comprehensive standardization and implementation plan of digital services offered by the "Port of the Future". *Computers in Industry*, 134. doi: 10.1016/j.compind.2021.103556
- Pedrielli, G., Xing, Y., Peh, J. H., Koh, K. W., & Ng, S. H. (2020). A real time simulation optimization framework for vessel collision avoidance and the case of singapore strait. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 21(3), 1204-1215. doi:10.1109/TITS.2019.2903824
- Peoples, C., Moore, A., & Georgalas, N. (2022). Port Sustainability as a Service: The Design of Bespoke Service Level Agreements (SLAs) to Improve Operational Efficiency at Harbours by Prioritising Social Satisfaction. *Frontiers in Sustainability*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.928994>
- Philipp, R., Prause, G., Olaniyi, E. O., & Lemke, F. (2021). Towards Green and Smart Seaports: Renewable Energy and Automation Technologies for Bulk Cargo Loading Operations. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 650-665. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0049>

- Porto Açu. (2021). Relatório de sustentabilidade 2021. https://esg.portodoacu.com.br/wp-content/uploads/2022/05/pda-ras-2021_310522_00.pdf
- Portocel. (2021). Relatório anual 2021. https://www.portocel.com.br/wp-content/uploads/2022/06/Relat%C3%B3rio-Portocel_v3-1.pdf
- Portos do Paraná. (2021). Relatório de 2021 sustentabilidade. https://www.portosdoparana.pr.gov.br/sites/portos/arquivos_restritos/files/documento/2023-02/APPA_RS2021_PI_PT_V2_AR.pdf
- Remondino, M., & Zanin, A. (2022). Logistics and Agri-Food: Digitization to Increase Competitive Advantage and Sustainability. Literature Review and the Case of Italy. Sustainability, 14(2), 21. <https://doi.org/10.3390/su14020787>
- Roos, E. C., & Neto, F. J. K. (2017). Tools for evaluating environmental performance at Brazilian public ports: Analysis and proposal. Marine Pollution Bulletin, 115(1-2), 211-216. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.12.015
- Ruiz, S., Garau, B., Martinez-Ledesma, M., Casas, B., Pascual, A., Vizoso, G., Tintore, J. (2012). New technologies for marine research: five years of glider activities at IMEDEA. Scientia Marina, 76, 261-270. doi:10.3989/scimar.03622.19L
- Sadiq, M., Ali, S. W., Terriche, Y., Mutarraf, M. U., Hassan, M. A., Hamid, K., Guerrero, J. M. (2021). Future Greener Seaports: A Review of New Infrastructure, Challenges, and Energy Efficiency Measures. Ieee Access, 9, 75568-75587. doi:10.1109/ACCESS.2021.3081430
- Sari, Y. A., & Pamadi, M. (2019). The Smart Port Concept of Batu Ampar Port in Batam. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 343, 012095. doi: 10.1088/1755-1315/343/1/012095
- Serrano, B. M., Gonzalez-Cancelas, N., Soler-Flores, F., & Orive, A. C. (2018). Analysis of port institutional, economic, social and environmental dimensions using artificial intelligence. Revista De Transporte Y Territorio(18), 264-284.
- Souza, F., Yang, D., Moreira, A., Barreto, L., & Pitombo, C. (2022). Assessment of container terminals competitiveness in the Brazilian market: a cluster analysis. Maritime Policy & Management, 19. doi:10.1080/03088839.2022.2093417
- Steiner, L. V., Silveira, T. C., & Buss, T. (2022). Environmental performance assessment in the context of port 4.0. Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen, 15, 161-194. doi: <https://doi.org/10.59306/reen.v15e2022161-194>
- Themistocleous, K., Mettas, C., Evagorou, E., & Hadjimitisis, D. (2019, Sep 10-12). The Use of Satellite Remote Sensing and UAV for Mapping of Coastal Areas for the Use of Marine Spatial Planning. Paper presented at the SPIE Conference on Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications X held at SPIE Remote Sensing Conference, Strasbourg, FRANCE. <https://doi.org.ez14.periodicos.capes.gov.br/10.1117/12.2533064>
- Tijan, E., Jovic, M., Panjako, A., & Zgaljic, D. (2021). The Role of Port Authority in Port Governance and Port Community System Implementation. Sustainability, 13(5), 14. doi:10.3390/su13052795
- Transpetro. (2021). Relatório integrado 2021. <https://transpetro.com.br/transpetro-institucional/instrumentos-de-governanca/relatorios.htm>
- Tsolakis, N., Zissis, D., Papaefthimiou, S., & Korfiatis, N. (2022). Towards AI driven environmental sustainability: an application of automated logistics in container port terminals. International Journal of Production Research, 60(14), 4508-4528. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1914355>

- United Nations (2015), Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, United Nations, New York, available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication>
- Usiminas. (2022). Relatório anual de sustentabilidade 2022. https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2023/09/USIMINAS_RAS_2023_BOOK_02-5-001_compressed.pdf
- Vale. (2022). Relatório integrado 2022. https://vale.com/documents/d/guest/vale_relatointegrado2022-br-final
- Van Kol, T. V., Jovanova, J., Mohajeri, M. J., Schott, D. L., & Ieee. (2021, Jul 12-16). Introducing adaptive mechatronic designs in bulk handling industry. Paper presented at the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Electr Network. doi: 10.1109/AIM46487.2021.9517377
- Vargas, M. N., Silva, V. M. D., & Coelho, A. S. (2020). Data envelopment analysis (dea) applied to ports: the state of the art. *Revista Eletronica De Estrategia E Negocios-Reen*, 13, 77-109. doi:10.19177/reen.v13e01202078-109
- VLI. (2021). Relatório de sustentabilidade 2021. https://www.vli-logistica.com.br/wp-content/uploads/2022/10/VLI_Relatorio-Sustentabilidade-2021.pdf
- Wanke, P. F. (2013). Physical infrastructure and shipment consolidation efficiency drivers in Brazilian ports: A two-stage network-DEA approach. *Transport Policy*, 29, 145-153. doi: 10.1016/j.tranpol.2013.05.004
- World Intellectual Property Organization. (2022). Global Innovation Index. Recuperado de <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-en-main-report-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf>
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Yau, K. L. A., Peng, S. H., Qadir, J., Low, Y. C., & Ling, M. H. (2020). Towards Smart Port Infrastructures: Enhancing Port Activities Using Information and Communications Technology. *Ieee Access*, 8, 83387-83404. doi:10.1109/access.2020.2990961
- Zhao, D. Z., Wang, T. Y., & Han, H. S. (2020). Approach towards Sustainable and Smart Coal Port Development: The Case of Huanghua Port in China. *Sustainability*, 12(9), 23. doi:10.3390/su12093924

APÊNDICE A - Estudos de caso

Estudos	Portos	Objetivos
Ruiz et al. (2012)	Calanova	Este artigo resume as atividades de planadores realizadas nos últimos 5 anos pelo Departamento de Marinha da IMEDEA Tecnologias, Oceanografia Operacional e Sustentabilidade (TMOOS). A TMOOS tem operado planadores no oeste do Mar Mediterrâneo desde 2006 e criou laboratórios eletrônicos e de manutenção para estabelecer um importante porto de planadores na área.
McGinley. (2014)	Dublin	O problema crucial de gerenciamento de terminais é como equilibrar a integração da tecnologia atual com a nova tecnologia de ponta, como o Veículo Autônomo Inteligente (IAV).
Lacalle et al. (2019)	Bordéus Monfalcone Pireu Tessalônica	Casos de uso PIXEL também são apresentados neste artigo, com o objetivo de demonstrar, através de vários serviços analíticos, um desenho de arquitetura válido de coleta de dados heterogênea, tratamento de dados sob um modelo comum, armazenamento e visualização de dados.
Zhao et al. (2020)	Huanghua	Este artigo centra-se em medidas para o desenvolvimento sustentável dos portos de carvão com base nas dimensões económicas, ambientais e sociais, e examina os papéis de integração e optimização das tecnologias inteligentes na sustentabilidade dos portos de carvão na era da Internet das Coisas.

Lacalle et al. (2020)	Thessaloniki	Este artigo propõe uma estrutura de software baseada em Internet das Coisas, acompanhada de uma metodologia para definir, calcular e prever indicadores compostos que representem fenômenos do mundo real no contexto de uma cidade portuária inteligente.
Philipp et al. (2021)	Wismar	Este estudo aborda a questão de como automatizar as operações de carregamento de grânéis sólidos no âmbito de um desenvolvimento portuário verde e inteligente.
Pagano et al. (2022)	Livorno	Neste artigo abordamos o tópico de um possível caminho para padronizar os serviços de TIC que se espera que sejam entregues pelo chamado “Porto do Futuro”. A forma como as tecnologias e Sistemas de Informação mais relevantes são utilizados pelas Comunidades Portuárias para os seus negócios é discutida juntamente com uma análise detalhada do processo em curso. ações realizadas por organizações de definição de padrões.
Tsolakis et al. (2022)	Piraeus	Este estudo avalia o uso de AGVs em terminais de contêineres, investigando os ganhos de sustentabilidade ambiental que surgem com a adoção de inteligência artificial e automação para operações em terra em portos de carga.

Fonte: elaboração própria.

Orientador(a)