Advances in Global Innovation & Technology

Recebido
Received
Recibido
Jun. 2024

Aceito
Accepted
Aceptado
Nov. 2024

Publicado
Published
Publicado
Jan./Mar. 2025
Ene./Mar. 2025

https://**git.fateczl.edu.br**

e_ISSN
2965-3339

DOI
10.29327/2384439.3.2-5

São Paulo
v. 3 | n. 2
v. 3 | i. 2
e32379
Janeiro-Março
January-March
Enero-Marzo
2025

CC BY NC SA

O papel do digital twin na solução de problemas ambientais relacionados ao porto

The role of the digital twin in solving port-related environmental problems

El papel del gemelo digital en la resolución de los problemas medioambientales portuarios

Ivyn Carvalho dos Santos[1]
ivyn.santos@fatec.sp.gov.br

Karina Almeida França[1]
karina.almeida3@fatec.sp.gov.br

Diego Bossa Carvalho[1]
diego.carvalho7@fatec.sp.gov.br

Alexandre Machado[1]
alexandre.machado01@fatec.sp.gov.br

1 – Fatec Rubens Lara

Resumo:

Destacando a importância da indústria portuária no cenário global e ressaltando os desafios ambientais associados a suas operações, este artigo apresenta o conceito de Digital Twin como uma ferramenta crucial para promover a sustentabilidade portuária, permitindo monitoramento, análise e simulação detalhados em tempo real. A implementação do Digital Twin possibilita melhorias na eficiência energética, redução de emissões de carbono e mitigação de impactos ambientais, além de representar uma transformação significativa na forma como as operações portuárias são conduzidas. Ainda destaca os benefícios em termos de sustentabilidade ambiental, eficiência operacional e responsabilidade social que essa tecnologia pode oferecer à indústria portuária. Para tanto, a metodologia aplicada foi a revisão bibliográfica analítica, com abordagem qualitativa e práticas observadas no mercado, as quais contribuem para um melhor entendimento desse estudo.

Palavras-chave: Digital Twin; Indústria Portuária; Sustentabilidade Ambiental; Eficiência Operacional; Transformação Digital

Abstract:

Highlighting the importance of the port industry on the global stage and highlighting the environmental challenges associated with its operations, this article presents the concept of Digital Twin as a crucial tool for promoting port sustainability, enabling detailed monitoring, analysis and simulation in real time. The implementation of Digital Twin enables improvements in energy efficiency, reduction of carbon emissions and mitigation of environmental impacts, in addition to representing a significant transformation in the way port operations are conducted. It also highlights the benefits in terms of environmental sustainability, operational efficiency and social responsibility that this technology can offer the port industry. To this end, the methodology applied was an analytical bibliographic review, with a qualitative approach and practices observed in the market, which contribute to a better understanding of this study.

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

Keywords: *Digital Twin; Port Industry; Environmental Sustainability; Operational Efficiency; Digital Transformation.*

Resumen:

Destacando la importancia de la industria portuaria en el escenario global y destacando los desafíos ambientales asociados con sus operaciones, este artículo presenta el concepto de Gemelo Digital como una herramienta crucial para promover la sostenibilidad portuaria, permitiendo un monitoreo, análisis y simulación detallados en tiempo real. La implementación del Gemelo Digital permite mejoras en la eficiencia energética, reducción de emisiones de carbono y mitigación de impactos ambientales, además de representar una transformación significativa en la forma en que se llevan a cabo las operaciones portuarias. También destaca los beneficios en términos de sostenibilidad ambiental, eficiencia operativa y responsabilidad social que esta tecnología puede ofrecer a la industria portuaria. Para ello, la metodología aplicada fue la revisión analítica de la literatura, con un enfoque cualitativo y prácticas observadas en el mercado, que contribuyen a una mejor comprensión de este estudio.

Palabras clave: *Gemelo Digital; Industria Portuaria; Sostenibilidad Ambiental; Eficiencia Operativa, Transformación Digital.*

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

1. INTRODUÇÃO

A indústria portuária desempenha um papel crucial no cenário global, impulsionando o comércio e o desenvolvimento econômico. No entanto, a atividade não vem sem custos ambientais significativos. A poluição do ar é uma preocupação primordial, com as operações portuárias sendo uma fonte considerável de emissões de poluentes como óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, material particulado e compostos orgânicos voláteis, afetando negativamente a qualidade do ar local e apresentando riscos à saúde respiratória das comunidades vizinhas. Além disso, a poluição da água é uma questão crítica, com descargas de águas residuais, derramamentos de combustível e produtos químicos contaminando os corpos d'água adjacentes, prejudicando a vida marinha e comprometendo a qualidade da água, representando riscos para a saúde humana.

A construção de infraestruturas portuárias, como cais e diques, também pode desencadear a erosão costeira e a alteração de habitats naturais, aumentando a vulnerabilidade das comunidades costeiras a eventos extremos. Por fim, o ruído e as vibrações resultantes das operações portuárias representam outro desafio ambiental, afetando negativamente a vida selvagem, as comunidades locais e a saúde dos trabalhadores portuários. Compreender e mitigar esses problemas ambientais é essencial para garantir a sustentabilidade da indústria portuária e minimizar seus impactos adversos nos ecossistemas circundantes e na saúde humana.

As tecnologias digitais desempenham um papel crucial na promoção da sustentabilidade, oferecendo soluções inovadoras para abordar desafios ambientais globais. A Internet das Coisas (IoT), a análise de big data, a inteligência artificial e as redes inteligentes permitem o monitoramento ambiental em tempo real, a otimização de recursos, a gestão eficiente de energia e resíduos, e o planejamento urbano sustentável. Essas tecnologias facilitam a transição para energias renováveis, promovem a eficiência energética, reduzem as emissões de carbono e impulsionam práticas comerciais e industriais mais responsáveis, sendo essenciais para alcançar um futuro sustentável e resiliente.

O presente artigo se propõe a explorar os conceitos do Digital Twin e sua aplicação nas operações portuárias, visando compreender como essa tecnologia atua no planejamento das questões ambientais atreladas ao porto, como emissão de gases poluentes e gerenciamento de recursos.

Segundo Gil (2002), o objetivo da pesquisa científica é ordenar os fatos que envolvem um fenômeno, a fim de explicar o mesmo de forma objetiva e livre de imprecisões. Para tal, é necessário um ou mais métodos de origem lógica. A metodologia utilizada neste estudo consistiu em uma abordagem qualitativa, com ênfase em pesquisa puramente bibliográfica, método descrito por Fonseca (2002) como o processo de coleta de dados e informações de fontes técnicas, como livros e artigos acadêmicos, para obter conhecimento prévio sobre um problema específico.

A análise dos dados baseou-se na revisão crítica e sistemática da literatura pertinente ao tema em questão, visando a compreensão aprofundada e

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

contextualizada dos fenômenos abordados.

A melhoria da eficiência energética e a redução de emissões de carbono são objetivos cruciais na luta contra as mudanças climáticas. O Digital Twin, ao monitorar o desempenho energético e identificar áreas de otimização, possibilita ajustes precisos para reduzir o consumo de energia e minimizar as emissões associadas às operações industriais. Sua capacidade de modelagem virtual e simulação contribui para a implementação de estratégias de conservação de energia e avaliação de cenários alternativos, emergindo como uma ferramenta poderosa na promoção da sustentabilidade e eficiência energética, impulsionando a inovação e transformação digital em diversas indústrias. Sua capacidade de monitoramento, análise e simulação oferece oportunidades sem precedentes para enfrentar os desafios ambientais globais e criar um futuro mais sustentável e resiliente para o planeta.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Indústria 4.0 e Digital Twin

A Indústria 4.0, também conhecida como a quarta revolução industrial, representa uma transformação significativa na forma como as operações industriais são conduzidas, impulsionada pela interconexão de tecnologias avançadas, inteligência artificial e robótica.

Este paradigma busca integrar sistemas autônomos por meio de dados analíticos e diagnósticos operacionais, criando uma rede de comunicação que conecta máquinas e transmite grandes volumes de dados de diversas fontes. Essa interconexão forma uma "cópia" digital da realidade, conforme descrito por O'Connell (2019).

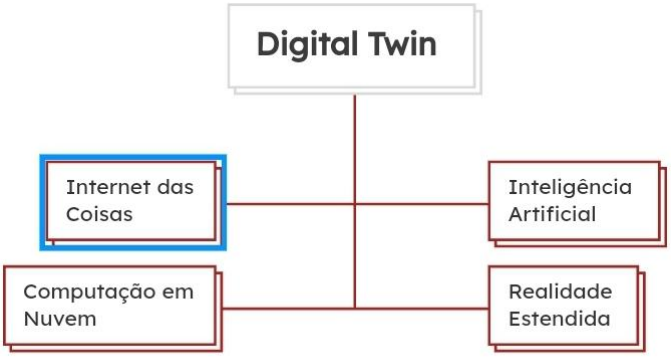
A tecnologia do Digital Twin tem como objetivo criar uma representação digital precisa de objetos, sistemas e ambientes físicos, com base em dados coletados tempo real e modelos virtuais, replicando e simulando as características do objeto, permitindo a análise e processamento de atividades, revolucionando a forma como operações eram anteriormente conduzidas manualmente, reduzindo o risco de falhas e proporcionando benefícios significativos para as empresas (Correa, 2019).

Introduzido pela primeira vez nos anos 2000, por Michael Grieves, professor da Universidade de Michigan, e conforme descrito por Lv e Xie (2021), o Digital Twin tem como base três aspectos relacionados ao processamento de dados utilizados em seu funcionamento: aquisição, modelagem e aplicação, que se apoiam em quatro tecnologias base: Internet das coisas, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial e Realidade Estendida (Attaran e Celik, 2023).

A Internet das Coisas é usada como um componente primário em qualquer aplicação envolvendo a tecnologia de Digital Twin, uma vez que proporciona uma rede de conexões entre sensores, programas e interfaces (dentre mais outros componentes) permitindo uma integração envolvendo tudo que compõem o processo em que se encontram (Gillis, 2021).

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

Figura 1 – Organograma Tecnológico da *Digital Twin*



Fonte: Produzida e Adaptada pelo autor (2024)

A Computação em Nuvem viabiliza o armazenamento e o tratamento de grandes quantidades de dados, coletados por sensores e outros maquinários de monitoramento. A informação então é processada por uma Inteligência Artificial de forma rápida e eficiente sem a necessidade de intervenção direta de quaisquer usuários ou moderadores de forma contínua. (Ray, 2018).

Por fim, a Realidade Estendida proporciona uma apresentação visual da simulação, de acordo com Steuer (1992), a partir de uma experiência interativa onde cada mudança e consequência pode ser testada antes de uma decisão final.

Como ferramenta, essa tecnologia tem como seu maior atrativo a simulação. Uma vez que experimentação em um ambiente virtual permite análise profunda de quaisquer mudanças propostas ao ambiente que é simulado, sem expor a localidade ou mão de obra à possíveis avarias ou fatalidades.

2.2 Usos Gerais

Atualmente, de acordo com Attaran e Celik (2023), os *Digital Twins* são amplamente empregados em diversos setores, como manufatura, construção, transporte, saúde e energia, sendo utilizados para monitorar o desempenho, prever falhas, realizar simulações e otimizar processos.

O estudo conduzido pela Capgemini (2022) aponta para um aumento projetado de 36% na adoção da tecnologia *Digital Twins* nos próximos cinco anos. Este crescimento é observado em uma variedade de setores, como automóvel, aeroespacial, ciências da vida, energia e utilidades. O impulso por trás desse movimento é atribuído às empresas que buscam avançar em suas iniciativas de transformação digital, visando incorporar inteligência em todas as etapas da cadeia de valor de suas operações.

Na indústria manufatureira são utilizados para replicar digitalmente processos de produção, máquinas e até mesmos produtos acabados. Eles permitem que os fabricantes monitorem o desempenho em tempo real das linhas de produção, identifiquem gargalos, otimizem o uso de recursos e antecipem possíveis falhas. Além disso, os *Digital Twins* podem ser usados para simular diferentes cenários de produção, testar novos designs de produtos e realizar análises de eficiência

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

energética (Capgemini, 2022).

Na área da saúde, os *Digital Twins* têm sido aplicados para criar modelos virtuais de pacientes, órgãos ou sistemas biológicos. Isso permite aos profissionais de saúde acompanhar o estado de saúde em tempo real, prever tendências e desenvolver planos de tratamento personalizados. Os *Digital Twins* também são usados para simular procedimentos cirúrgicos complexos, treinar cirurgiões e testar novas terapias ou dispositivos médicos antes de sua implementação no mundo real (Capgemini, 2022).

Os *Digital Twins* desempenham um papel fundamental no setor de energia, permitindo que as empresas monitorem e controlem remotamente a operação de ativos como turbinas eólicas, painéis solares, redes elétricas e estações de energia. Eles ajudam na detecção precoce de falhas, na manutenção preditiva e na otimização do desempenho, contribuindo para a eficiência operacional e a redução dos custos de manutenção. Além disso, os *Digital Twins* são usados para simular cenários de demanda e fornecimento de energia, apoiando o planejamento estratégico e a tomada de decisões no setor energético (Capgemini, 2022).

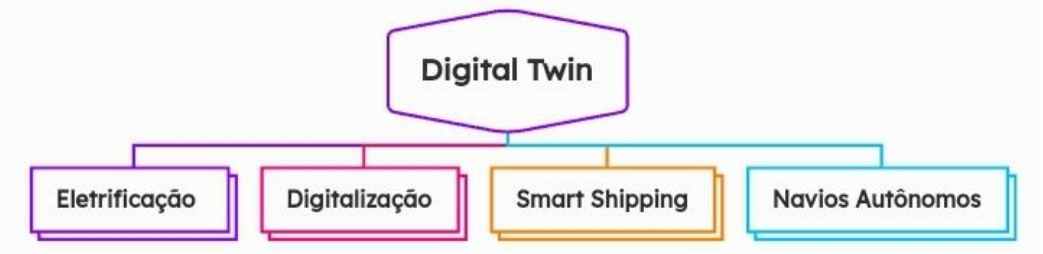
3. Método

3.1 A adequação do Digital Twin nos Portos

Segundo Lind et al. (2020), na indústria portuária, o conceito de Digital Twin é empregado para realizar análises visando a otimização das operações e o monitoramento eficiente da frota e das cargas. O modelo permite simular e acompanhar de forma precisa as atividades portuárias, contribuindo para a melhoria contínua dos processos e o aumento da eficiência operacional.

De acordo com Madusanka et al. (2023), a indústria naval vem seguindo um processo lógico para adequação da tecnologia em embarcações e portos.

Figura 2. Passos do processo de adequação de embarcações



Fonte: Produzida e Adaptada pelo autor (2024)

A eletrificação das embarcações mais modernas tem o foco no sistema de propulsão, a fim de substituir o combustível derivado de petróleo (Diesel) para um sistema de propulsão 100% elétrico, de forma a resolver o problema de emissões de gases nocivos à atmosfera terrestre (Sulligoi et al, 2022).

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

Nos portos, de acordo com Gasparotti et al (2023), por ser a melhor solução para a otimização de operações, a digitalização é um fator crítico para se alcançar objetivos relacionados à competitividade na indústria portuária. Tendo como principais objetivos a maior eficácia e eficiência das cadeias logísticas e a diminuição dos impactos ambientais da indústria como um todo, a partir de transmissão de informações em tempo real para todas as partes interessadas e centros de análise e processamento de dados para automações.

O *Smart Shiping* consiste, basicamente, em uma rede digital interligada por sensores e centros de processamentos de dados que utilizam a arquitetura de conexão da tecnologia 5G (Bányai et al, 2022), dentre suas aplicações, de acordo com Ahn et al, existe a monitoração em tempo real de cargas portuárias em rota marítima, fornecendo localização, e leituras de condições físicas da carga como temperatura, humidade, níveis de oxigênio ou outros componentes químicos dentro do container (Sikorski et al, 2017). Essa tecnologia não é implementada apenas em containers e cargas, navios autônomos, conhecidos como MASS (*Maritime Autonomous Surface Ships*) também utilizam essa infraestrutura digital, em conjunto de ferramentas como GPS (localização e triangulação de rotas), radares, sonares e AIS (Sistema Automático de Identificação), com o objetivo de fornecer e colher dados de navegação para planejamento de rotas e previsões de idas e chegadas nos portos (Blanke et al, 2020).

A adequação da indústria marítima para o uso de ferramentas digitais em suas operações tem como foco a implementação de regras relacionadas à sustentabilidade ambiental e seus impactos na competitividade portuária em relação à concorrentes, ameaça de perdas de clientela caso não se sujeitem às mudanças e possíveis incidentes diplomáticos no mercado internacional.

3.2 Digital Twin e Sustentabilidade Ambiental

O setor marítimo, um dos maiores emissores de CO2 e GHG (*Greenhouse Gás* - Gases de Efeito Estufa) atualmente, tem como um dos seus maiores objetivos implementar soluções a curto, médio e longo prazo para a diminuição das emissões de gases nocivos, uma vez que a IMO (*Internaional Maritime Organization* - Organização Marítima Internacional) estipulou a meta de zero emissão até 2050 (Mavrakos et al, 2024).

Uma dessas soluções é a aplicação da tecnologia de Digital Twin em portos e navios a fim de evitar tempo de espera nas entradas dos terminais de forma que resulte na economia de combustível das embarcações e energia dos terminais. Com menor gasto de combustível, alternativo ou não, una rotina mais dinâmica de operação diminui quaisquer emissões resultantes da atividade naval.

De acordo com Ünal e Albayrak (2023), pela sua característica de otimização de operações, o Digital Twin é uma ferramenta viável para a implementação de processos avançados de conectividade entre todos os envolvidos em uma cadeia logística, de forma que o uso de recursos ocorra sem desperdício uma vez que pedidos e processos manufaturados têm previsões baseadas na demanda.

A análise preditiva dessa tecnologia, ajuda na prevenção de eventuais fatores que

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

podem levar a anormalidades e desperdícios em quaisquer processos no qual esteja implementado, reduzindo custos de manutenção, detendo demora e atrasos nas operações, aperfeiçoando o gerenciamento de riscos dos procedimentos analisados, acarretando na economia de capital, energia e menor emissão ou descarte de materiais não reutilizáveis (Agrawal, 2023).

De acordo com Garcia Cano (2023), a indústria e óleo e gás, nos últimos anos, vem utilizando o Digital Twin em suas instalações para identificação de pontos de emissão excessiva de carbono e otimização de processos e operações enquanto coleta e fornece detalhes sobre os mesmos em tempo real.

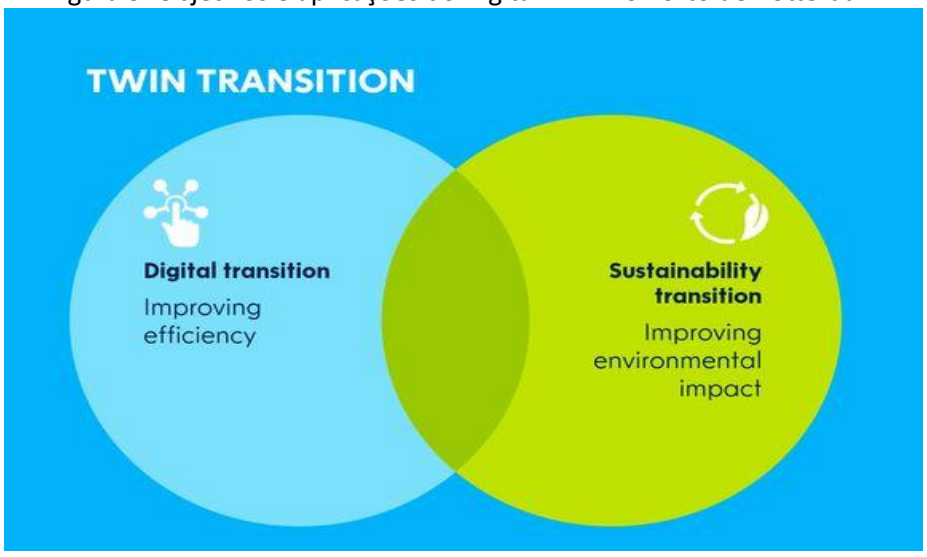
O Digital Twin oferece um potencial de operações realizadas na modalidade "Just in time" (Na hora certa – Modalidade sem tempo de espera, exceto em presença de imprevistos), quando utilizados em portos, o sistema detecta chegada e saída de embarcações, transmitindo a relação de horários para a autoridade portuária para melhoria nos agendamentos de operações no porto. Nos navios, uma vez integrado em uma rede, avisos sobre atrasos, demoras e eventuais adiantamentos promovidos por operações rápidas podem ajudar no controle de uso de recursos como combustível, ajudando no objetivo de diminuir emissões.

4. Resultados e Discussão

4.1 Mini Estudo de Caso: Rotterdam

O porto de Rotterdam, na Holanda é o pioneiro no uso do Digital Twin em suas operações, de acordo com a autoridade portuária de Rotterdam, o Porto investe em digitalização e automação em conjunto com a promoção da transição para o uso de combustíveis alternativos afim de chegar ao objetivo estabelecido pela IMO (*International Maritime Organization*) de zero emissões de carbono em até 30 anos.

Figura 3. Objetivos e aplicações do Digital Twin no Porto de Rotterdam

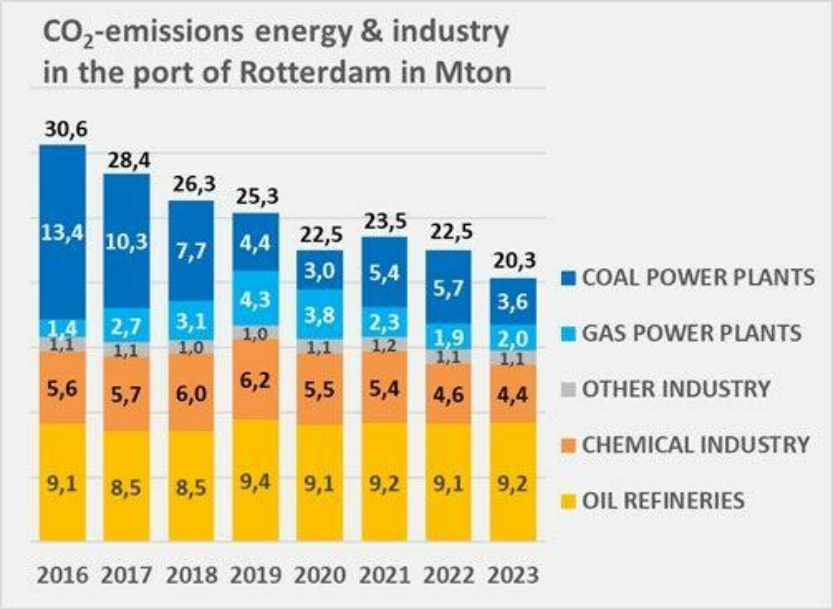


Fonte: Digital Twin e o projeto de porto sustentável, Porto de Rotterdam (2023)

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

Em 2023 a autoridade portuária de Rotterdam reportou uma diminuição de 10% de emissão de CO^2 em comparação com o ano anterior e cerca de 32% de diminuição em contraste com 2016.

Figura 4. Gráfico com níveis de emissão de CO^2 por tipo de instalação energética



Fonte: Porto de Rotterdam (2023)

A digitalização tem como foco promover uma rede de comunicação rápida sem a necessidade de documentação física, e o monitoramento da infraestrutura para identificar pontos de emissão excessiva que necessitam de conserto e manutenção.

Em abril de 2024, a autoridade portuária de Rotterdam anunciam o início da fase de testes de uma integração digital entre os portos fluviais dos Países Baixos que operam no Rio Reno e o Porto de Rotterdam, o objetivo desse projeto é criar um "corredor digital" para trocas de informações entre embarcações que navegam entre esses portos, e seus terminais, fazendo possível um fluxo de dados em tempo real nessa rede, que alimenta os sistemas digitais que regem os pontos autônomos das operações, e podem também ser usado para a dinamização da escala portuária, diminuindo tempo de estadia das embarcações e suas emissões de gases nocivos.

A otimização do processo de entrada e saída das embarcações (*Port Call Otimization*), o porto de Rotterdam prevê que a eficiência do procedimento possibilitará a realização de operações na modalidade "Just In Time" (onde o porto está sempre disponível para atracação), reduzindo gasto de combustível em até 14% em navios de container. Esse processo será viável a partir de uma coleta e transferência de dados em tempo real entre embarcações, terminais e portos para a integração satisfatória de dinamização das operações (Port of Rotterdam, 2023).

Em Rotterdam, o Digital Twin, ainda em etapas iniciais, apesar de avançadas em comparação com o resto do mundo, tem como principal foco ser utilizado como

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

ferramenta para a criação de uma rede única entre portos, onde a rápida transmissão de dados possibilita um fluxo contínuo de operações realizadas sem atrasos, ou demurrages, e comunicação imediata de imprevistos de forma que o sistema se autorregula com auxílio da tecnologia de análise e simulação do Digital Twin.

5. Conclusão

A indústria portuária, como peça fundamental do cenário global, desempenha um papel crucial na promoção do comércio e desenvolvimento econômico. Contudo, essa atividade não ocorre sem custos ambientais significativos. A poluição do ar e da água, a erosão costeira, a alteração de habitats naturais e o ruído são apenas alguns dos desafios ecológicos enfrentados pelos portos, afetando negativamente o meio ambiente e a saúde das comunidades circundantes.

No entanto, as tecnologias digitais emergem como aliadas na busca por soluções sustentáveis para esses desafios ambientais. Através da implementação de ferramentas como o Digital Twin, os portos podem melhorar significativamente sua gestão ambiental e reduzir seu impacto no meio ambiente. Essa tecnologia permite o monitoramento em tempo real de parâmetros ambientais, a simulação de cenários e a identificação de oportunidades de otimização de recursos.

O presente estudo explorou os conceitos do Digital Twin e sua aplicação na indústria portuária, destacando seu potencial para enfrentar questões ambientais complexas. Ao analisar os benefícios e desafios associados à implementação do Digital Twin nos portos, foi possível compreender como essa tecnologia pode contribuir para uma gestão mais sustentável e eficiente das operações portuárias.

Além disso, a metodologia utilizada neste estudo, baseada em uma abordagem qualitativa e pesquisa bibliográfica, proporcionou uma compreensão aprofundada e contextualizada dos fenômenos abordados. A análise crítica da literatura pertinente ao tema permitiu uma avaliação rigorosa dos aspectos teóricos e práticos do Digital Twin na indústria portuária.

A sustentabilidade nos portos e terminais não é apenas uma escolha ética, mas também uma necessidade estratégica. À medida que enfrentamos os desafios urgentes das mudanças climáticas, da degradação ambiental e da escassez de recursos, é imperativo que abracemos práticas que promovam a prosperidade econômica, a equidade social e a saúde do planeta. Os portos e terminais têm um papel crucial a desempenhar nesse esforço coletivo, e é fundamental que trabalhemos juntos para construir um futuro mais sustentável e resiliente para todos.

A implementação de *digital twins* em portos e terminais marítimos oferece uma gama de benefícios significativos. Ao fornecer uma representação virtual precisa dos ativos e processos, o *digital twin* permite uma gestão mais eficiente e inteligente das operações portuárias. Isso resulta em uma série de vantagens, como otimização do fluxo de carga, prevenção de congestionamentos, melhorias

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

na segurança e redução de custos operacionais. No entanto, é importante reconhecer que a implementação de *digital twins* em portos e terminais também apresenta desafios e desvantagens. Um dos principais desafios é a integração de sistemas e a coleta de dados em um ambiente portuário muitas vezes complexo e heterogêneo.

Em suma, a implementação de *digital twins* em portos e terminais marítimos emerge como uma estratégia viável e promissora para promover a sustentabilidade nessas infraestruturas vitais. Embora ofereça uma série de benefícios tangíveis, como aprimoramento da eficiência operacional e redução de custos, também apresenta desafios significativos, especialmente em termos de integração de sistemas e coleta de dados. No entanto, diante da urgência das questões ambientais e da necessidade de promover práticas sustentáveis, é imperativo superar esses obstáculos. Portanto, a adoção de *digital twins* representa não apenas uma oportunidade para otimizar operações, mas também um passo crucial em direção a um futuro mais resiliente e ecologicamente consciente para os portos e terminais marítimos.

Diante dos desafios ambientais cada vez mais prementes, a implementação do Digital Twin emerge como uma estratégia promissora para promover a sustentabilidade e a eficiência operacional dos portos. Ao aproveitar o potencial dessa tecnologia inovadora, os portos podem avançar em direção a um futuro mais sustentável e resiliente, beneficiando não apenas o meio ambiente, mas também as comunidades locais e a economia global como um todo.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, V. Council. **Decarbonization in the Industrial Sector:** How Digital Twins Can Support Sustainability Efforts. 2023. Disponível em: https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2023/12/04/decarbonization-in-the-industrial-sector-how-digital-twins-can-support-sustainability-efforts/?sh=4da4efe635bf. Acesso em: 5 mai. 2024.

AGUIAR, C., Leonardo de. **Método Para Formulação De Pacotes De Trabalho Para Obras Repetitivas Com O Uso Do BIM 4D**. 2019.

AHN, Y.-G. et al. **A Study on the Development Priority of Smart Shipping Items** - Focusing on the Expert Survey. Sustainability, v. 14, n. 11, p. 6892, 5 jun. 2022.

ATTARAN, M.; CELIK, B. G. **Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and Opportunities**. Decision Analytics Journal, v. 6, p. 100165, jan. 2023.

BALCOMBE, P. et al. **How to Decarbonise International shipping:** Options for fuels, Technologies and policies. Energy Conversion and Management, v. 182, p. 72–88, fev. 2019.

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

BÁNYAI, T.; BÁNYAI, Á.; KACZMAR, I. **Supply Chain:** Recent Advances and New Perspectives in the Industry 4.0 Era. [s.l.] BoD – Books on Demand, 2022.

BATALDEN, B.; LEIKANGER, P.; WIDE, P. **Towards Autonomous Maritime Operations**. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7995339. Acesso em: 4 mai. 2024.

BLANKE, M.; HENRIQUES, M.; BANG, J. **A pre-analysis on Autonomous ShipsDanish Maritime Authority**. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.dma.dk/Media/637745503398246035/Autonome%20skibe_DTU_rapport_UK.pdf. Acesso em: 4 mai. 2024.

BRASIL, N. U. **Empresas Se Juntam À ONU Para Acelerarem Ações Pela Sustentabilidade**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/152389-empresas-se-juntam-%C3%A0-onu-para-acelerarem-a%C3%A7%C3%B5es-pela-sustentabilidade. Acesso em: 5 abr. 2024.

FONSECA, J. J. S. **METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA**. [s.l.] UEC - Universidade Estadual do Ceará, 2002. Disponível em: http://www.ia.ufrrj.br/ppgea/conteudo/conteudo-2012-1/1SF/Sandra/apostilaMetodologia.pdf. Acesso em: 9 abr. 2024.

GARCIA CANO, L. R. **How Digital Twins Can Make Decarbonization a Reality in the Oil and Gas Industry**. Disponível em: https://www.iotworldtoday.com/iiot/how-digital-twins-can-make-decarbonization-a-reality-in-the-oil-and-gas-industry-#close-modal. Acesso em: 5 mai. 2024.

GASPAROTTI, C. et al. **Ports Digitization-A Challenge for Sustainable**. Development Romanian Journal of Economic Forecasting -XXVI (2) 2023 PORTS DIGITIZATION - A CHALLENGE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT Romanian Journal of Economic Forecasting. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://ipe.ro/rjef/rjef2_2023/rjef2_2023p143-160.pdf. Acesso em: 4 mai. 2024.

GIL, A. A. C. **Como Elaborar Projetos De pesquisa**. [s.l.] Éditeur: São Paulo: Atlas, 2010.

GILLIS, A**. What Is IoT (Internet of Things) and How Does It Work?** Disponível em: https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT. Acesso em: 28 mar. 2024.

GRIEVES, M. W**. Virtually Intelligent Product Systems:** Digital and Physical Twins. Complex Systems Engineering: Theory and Practice, p. 175–200, jan. 2019.

IBM. **IBM**. United States. Disponível em: https://www.ibm.com/us-en. Acesso em: 4 jan. 2024.

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

IMO. **Autonomous Shipping**. International Maritime Organization, 2024. Disponível em: https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Autonomous-shipping.aspx. Acesso em: 11 abr. 2024.

LIND, M. et al. **Digital Twins for the Maritime Sector**. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mikael-Lind/publication/343382513_Digital_twins_for_the_maritime_sector/links/5f26ab96a6fdcccc43a2d7b1/Digital-twins-for-the-maritime-sector.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

LV, Z.; XIE, S. **Artificial intelligence in the digital twins:** State of the art, challenges, and future research topics. Digital Twin, v. 1, p. 12, 24 dez. 2021.

MACEDO, C. **60% Das Organizações Adota Tecnologia Digital Twins Para Alcançar Objetivos De Sustentabilidade**. Disponível em: https://www.ambientemagazine.com/60-das-organizacoes-adota-tecnologia-digital-twins-para-alcancar-objetivos-de-sustentabilidade/. Acesso em: 4 abr. 2024.

MADUSANKA, N. S. et al. **Digital Twin in the Maritime Domain:** A Review and Emerging Trends. Journal of Marine Science and Engineering, v. 11, n. 5, p. 1021, 1 maio 2023.

MAVRAKOS, A. S. et al. **A Digital Twin Approach for Selection and Deployment of Decarbonization Solutions for the Maritime Sector**. Disponível em: https://www.igi-global.com/chapter/a-digital-twin-approach-for-selection-and-deployment-of-decarbonization-solutions-for-the-maritime-sector/344076. Acesso em: 5 mai. 2024.

NEDERLANDSE EMISSIEAUTORITEIT. **About the NEa** - Dutch Emissions Authority. Disponível em: https://www.emissionsauthority.nl/about-the-nea. Acesso em: 4 maio. 2024.

O'CONNELL, E. et al. **Digital Twins:** Enabling Interoperability in Smart Manufacturing Networks. Telecom, v. 4, n. 2, p. 265–278, 1 jun. 2023.

PORT OF ROTTERDAM . **10% decrease in port of Rotterdam CO2 emissions in 2023** | Port of Rotterdam. Disponível em: https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/10-decrease-port-rotterdam-co2-emissions-2023. Acesso em: 10 mai. 2024.

PORT OF ROTTERDAM. **Testing for digital sea and inland port networking has commenced** | Port of Rotterdam. Disponível em: https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/testing-digital-sea-and-inland-port-networking-has-commenced. Acesso em: 10 mai. 2024.

DOI: https://doi.org/10.29327/2384439.3.2-5

RAY, P. P. **An Introduction to Dew Computing:** Definition, Concept and Implications. IEEE Access, v. 6, p. 723–737, 2018.

SIKORSKI, J. J.; HAUGHTON, J.; KRAFT, M. **Blockchain Technology in the Chemical industry:** Machine-to-machine Electricity Market. Applied Energy, v. 195, n. 195, p. 234–246, jun. 2017.

STEUER, J. **Defining Virtual Reality:** Dimensions Determining Telepresence. Journal of Communication, v. 42, n. 4, p. 73–93, dez. 1992.

SULLIGOI, G.; VICENZUTTI, A.; MENIS, R. **All-Electric Ship Design:** from Electrical Propulsion to Integrated Electrical and Electronic Power Systems | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7530867. Acesso em: 10 abr. 2024.

ÜNAL, A. F.; ALBAYRAK, Ö.; ÜNAL, P. **Impact of Digital Twin Technology Utilization in Manufacturing on Sustainability:** an Industrial Case Study | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/10216885. Acesso em: 5 mai. 2024.

ZAVVOS, E. et al. **Digital Twins for Synchronized Port-Centric Optimization Enabling Shipping Emissions Reduction**. Disponível em: https://www.igi-global.com/chapter/digital-twins-for-synchronized-port-centric-optimization-enabling-shipping-emissions-reduction/344081. Acesso em: 5 mai. 2024.