

DESCARBONIZAÇÃO NO SETOR PORTUÁRIO: INICIATIVAS, TECNOLOGIAS E POLÍTICAS PARA A TRANSIÇÃO SUSTENTÁVEL

Manoel Honorato Filho¹; João de Sá Kramer²; Ana Regina de Aguiar Dutra³ (Dr.)

¹ Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL)

² Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) – Bolsista PIBIC/CNPq

³ Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) - ana.aguiar@ulife.com.br

Resumo

A descarbonização portuária é decisiva para reduzir emissões de GEE e alinhar o setor às metas globais de sustentabilidade. O estudo realizou uma revisão sistemática via ProKnow-C, resultando em um portfólio final de 28 artigos. A literatura converge para cinco dimensões centrais da transição sustentável: infraestrutura energética, combustíveis alternativos, digitalização, regulação e capacitação. A integração entre tecnologias, governança e qualificação profissional emerge como condição estruturante para a eficácia das estratégias de mitigação. Em síntese, portos que articulam essas dimensões de forma sistêmica avançam mais rapidamente rumo à economia de baixo carbono.

Palavras-chave: Descarbonização portuária, Sustentabilidade marítima, Eficiência energética.

INTRODUÇÃO

Os portos desempenham papel estratégico no comércio internacional, movimentando cerca de 80% das cargas globais (Buonomano et al., 2023). Entretanto, sua relevância econômica contrasta com impactos ambientais derivados da dependência de combustíveis fósseis, que elevam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Winnes, Styhre & Fridell, 2015; IAPH, 2018). O setor marítimo representa cerca de 2,3% das emissões globais e pode ampliar esse impacto sem medidas eficazes (IMO, 2014), tornando os portos elementos centrais na transição para a economia de baixo carbono (Alamouh, Ölçer & Ballini, 2023).

Pressões do Acordo de Paris (United Nations, 2015) e das metas da IMO para 2050 reforçam essa necessidade (Dong et al., 2022). Embora combustíveis de baixo carbono, eletrificação e digitalização sejam caminhos promissores (Buonomano et al., 2023), a literatura permanece fragmentada, com pouca integração entre tecnologia, governança e políticas públicas (Papadis & Tsatsaronis, 2020; Dong et al., 2022).

Destacam-se a eletrificação de equipamentos, a expansão de renováveis e o uso de hidrogênio verde e biocombustíveis, especialmente o cold ironing, que reduz emissões de navios atracados (Bakar & Bazmohammadi, 2022). Tecnologias digitais IoT, blockchain e inteligência artificial aprimoram monitoramento e eficiência energética (Sadiq et al., 2024), exigindo maior alinhamento entre infraestrutura e regulação (Molavi, Lim & Race, 2019). Políticas públicas e incentivos financeiros reduzem riscos e atraem investimentos, sobretudo em países em desenvolvimento (Papadis & Tsatsaronis, 2020; Dong et al., 2022). A capacitação profissional é determinante, pois a transição envolve mudanças culturais e institucionais (Luderer et al., 2019).

Após 2020, observou-se aumento das publicações (Visser, van Eck & Waltman, 2021), embora com baixa colaboração entre instituições (Bornmann, 2008). A limitada integração em pesquisas sobre energias renováveis (Buonomano et al., 2023) reforça a necessidade de um modelo baseado em cinco dimensões: infraestrutura sustentável, combustíveis

alternativos, inovação digital, políticas regulatórias, incentivos financeiros e capacitação profissional.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido por meio de uma revisão sistemática utilizando o método ProKnow-C (Ensslin et al., 2020), com o objetivo de sintetizar o conhecimento sobre descarbonização portuária e identificar desafios na literatura. A pesquisa foi realizada nas bases Scopus e Web of Science. Os eixos de busca foram *decarbonization* e *ports*, ampliados com termos relacionados a emissões, eficiência energética e sustentabilidade. Após remoção de duplicidades e seleção por títulos, resumos e textos completos, restaram 28 artigos elegíveis para compor o portfólio final. A Figura 1 apresenta a síntese do processo de filtragem.



Figura 1: Síntese do Processo de Filtragem dos artigos

Esse procedimento permitiu identificar lacunas, tendências e boas práticas discutidas na literatura internacional, servindo de base para a proposição do modelo conceitual composto por cinco dimensões: infraestrutura sustentável, combustíveis alternativos, inovação digital, políticas regulatórias e capacitação profissional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão da literatura possibilitou identificar cinco dimensões estratégicas para atuar no processo de descarbonização do setor portuário, de acordo com a disposição apresentada no

modelo conceitual da Figura 2.

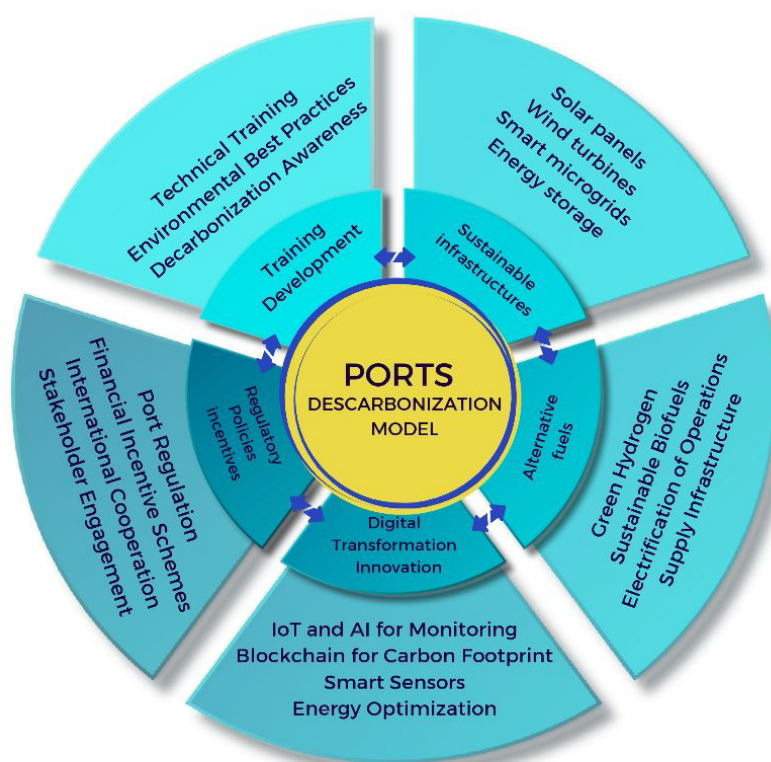


Figura 2: Modelo de descarbonização do setor portuário.

A infraestrutura sustentável destaca-se pelo papel dos portos como hubs energéticos, integrando fontes renováveis, microgrids e soluções de eletrificação, especialmente o cold ironing, que reduz emissões nas operações de cais (Buonomano et al., 2023; Bakar & Bazmohammadi, 2022). Em combustíveis alternativos, hidrogênio verde, biocombustíveis e eletrificação progressiva surgem como principais opções, ainda limitadas por custos e escala (Cormos, 2023; Hoang et al., 2022). A inovação digital por meio de IoT, inteligência artificial e blockchain contribui para monitoramento, eficiência energética e rastreabilidade (Sadiq et al., 2024). No campo regulatório e financeiro, diretrizes da IMO e dos ODS orientam a redução global de emissões, embora disparidades regionais exijam incentivos e cooperação (Dong et al., 2022; Alamoush, Ölçer & Ballini, 2022). A capacitação profissional permanece essencial, envolvendo treinamento e engajamento dos atores do setor (IMO, 2014; IAPH, 2018). Integradas, essas dimensões formam os pilares da descarbonização, orientando políticas e práticas para reduzir as emissões portuárias.

CONCLUSÃO

A descarbonização no setor portuário é fundamental para alinhar o transporte marítimo às demandas ambientais globais. As soluções identificadas mostram-se eficazes na redução de emissões e no aumento da eficiência operacional, apesar de desafios técnicos e financeiros persistirem. Investir nessa transição permite que os portos contribuam para a mitigação das mudanças climáticas e fortaleçam sua competitividade ao atrair novas oportunidades de negócio. Assim, a descarbonização configura-se não apenas como necessidade ambiental, mas como estratégia decisiva para manter a relevância dos portos no cenário logístico global.

FOMENTO

O trabalho contou com bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq) e com apoio da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL), que disponibilizou infraestrutura para o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

Referências

- ALAMOUSH, A. S.; ÖLÇER, A. I.; BALLINI, F. Ports' role in shipping decarbonisation: A common port incentive scheme for shipping greenhouse gas emissions reduction. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, v. 3, p. 100021, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clsc.2022.100021>.
- BAKAR, N. N. A.; BAZMOHAMMADI, N. Data-driven ship berthing forecasting for cold ironing in maritime transportation. *Applied Energy*, v. 326, p. 119947, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119947>.
- BORNMANN, L. What do citation counts measure? A review of studies on citing behavior. *Journal of Documentation*, v. 64, n. 1, p. 45–80, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1108/00220410810844150>.
- BUONOMANO, A. et al. Future pathways for decarbonization and energy efficiency of ports: Modelling and optimization as sustainable energy hubs. *Journal of Cleaner Production*, v. 420, p. 138389, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138389>.
- CORMOS, C.-C. Green hydrogen production from decarbonized biomass gasification: An integrated techno-economic and environmental analysis. *Energy*, v. 270, p. 126926, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126926>.
- DONG, J. et al. A review of law and policy on decarbonization of shipping. *Frontiers in Marine Science*, v. 9, p. 1076352, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1076352>.
- ENSSLIN, L. et al. Organizational knowledge retention management using a constructivist multi-criteria model. *Journal of Knowledge Management*, v. 24, n. 5, p. 997–1004, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/JKM-12-2019-0689>.
- HOANG, A. T. et al. Energy-related approach for reduction of CO₂ emissions: A critical strategy on the port-to-ship pathway. *Journal of Cleaner Production*, v. 366, p. 132939, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132939>.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF PORTS AND HARBORS (IAPH). *Port Emissions Toolkit: Guidance No. 2 – Development of port emissions reduction strategies*. International Maritime Organization & IAPH, 2018. Disponível em: <https://greenvoyage2050.imo.org/tools/port-emissions-toolkit-guide-no-2-development-of-port-emissions-reduction-strategies>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *Clean version of Annex 1: Reduction of GHG emissions from ships (MEPC.304(72))*. 2014. Disponível em: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/Revised-GHG-reduction-strategy-for-global-shipping-adopted-.aspx>. Acesso em: 14 nov. 2025.
- LINHARES, J. E.; SILVA, A. B.; SOUZA, C. D. Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: Análise sistêmica da literatura utilizando o ProKnow-C. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, n. 1, p. 53–66, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232018241.00112017>.
- LUDERER, G. et al. Environmental co-benefits and adverse side-effects of alternative power sector decarbonization strategies. *Nature Communications*, v. 10, p. 5229, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13067-8>.
- MINGERS, J.; LEYDESDORFF, L. A review of theory and practice in scientometrics. *European Journal of Operational Research*, v. 246, n. 1, p. 1–19, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.002>.

MOLAVI, A.; LIM, G. J.; RACE, B. A framework for building a smart port and smart port index. *International Journal of Sustainable Transportation*, v. 13, n. 5, p. 367–377, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1610919>.

OECD/ITF. *Decarbonising maritime transport: Pathways to zero-carbon shipping by 2035*. OECD Publishing, 2018. Disponível em: <https://www.itf-oecd.org/decarbonising-maritime-transport>. Acesso em: 14 nov. 2025.

PAPADIS, E.; TSATSARONIS, G. Challenges in the decarbonization of the energy sector. *Energy*, v. 205, p. 118025, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118025>.

SADIQ, M. et al. Toward next-generation smart ports: A case study on seaport microgrids customized for islands. *IEEE Transactions on Industry Applications*, v. 60, n. 5, p. 7681–7691, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2024.3425800>.

SINGH, V. K. et al. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics*, v. 126, n. 6, p. 5113–5142, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5>.

UNITED NATIONS. *Paris Agreement*. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em: 14 nov. 2025.

VISSER, M.; VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic. *Quantitative Science Studies*, v. 2, n. 1, p. 20–41, 2021. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00112.

WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J. A new methodology for constructing a publication-level classification system of science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, v. 63, n. 12, p. 2378–2392, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/asi.22748>.

WINNES, H.; STYHRE, L.; FRIDELL, E. Reducing GHG emissions from ships in port areas. *Research in Transportation Business & Management*, v. 17, p. 73–82, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.10.001>.