SHORE POWER E SUSTENTABILIDADE GLOBAL: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Anderson Gois Marques da Cunha
Doutorando em Administração, PROPAD/UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil
agmcunha10@hotmail.com

José Luiz Alves
Doutor em Geografia, UFPE, Professor Adjunto, FCAP/UPE, Recife, Pernambuco, Brasil
luiz.alves@upe.br

Alisson Barbosa da Silva
Doutorando em Administração, PPGA/UFPB, Paraíba, Pernambuco, Brasil
alissonbarbosa1991@gmail.com

Resumo: A sustentabilidade no transporte marítimo tem sido um tema central nas políticas globais, especialmente após a Agenda 2030, impulsionada por pressões regulatórias. O objetivo deste estudo foi analisar os estudos que investigam a estratégia *shore power* (SP) no contexto global. Essa estratégia consiste no fornecimento de energia limpa em terra para embarcações que atracam em zonas portuárias evitando o uso da queima de combustíveis fósseis que poluem o meio ambiente. Embora alguns estudos abordem o SP, há necessidade de aprofundamento teórico-empírico para identificar suas implicações. Uma análise bibliométrica foi realizada, identificando 741 estudos, dos quais 20 foram selecionados das bases *Web of Science* e *Scopus* após aplicação de critérios de inclusão e exclusão. A análise teve suporte do pacote bibliometrix do RStudio e de planilha eletrônica. Concluiu-se que a estratégia SP é recomendada para a sustentabilidade do transporte marítimo global, apesar de suas baixas taxas de adoção e alto custo de implantação. Ela proporciona ganhos econômicos e redução de emissões de gases, mas sua eficácia depende da infraestrutura portuária, gestão de custos operacionais e de manutenção, e principalmente de subsídios governamentais e políticas integradoras.

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável, abordagem de otimização portuária, políticas governamentais, estratégia empresarial, descarbonização.

1. Introdução

A Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) definiu planos de ação global para um futuro sustentável por meio de seus objetivos e metas. Seguindo esta abordagem, nações, entidades e sociedade tem buscado operar com estratégias que consigam atingir tais estratégias e uma destas refere-se à sustentabilidade nas operações no ambiente aquático.

Uma estratégia que vem fomentando esse alcance é o *shore power* (SP), um processo de alimentação de energia terrestre para embarcações quando atracam nos portos, por meio de energia limpa. Assim, o estudo teve como objetivo a analisar os estudos primários que tratam das implicações do uso do *shore power* na sustentabilidade global.

Embora o SP seja praticado, a tomada de decisão envolve manter operações regulares nos portos, gerando valor econômico e benefícios ambientais. A descarbonização e a redução de resíduos e emissões de gases poluentes são ações imperativas para tal alcance (Jørgensen, 2020; *Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]*, 2024). Busca-se então, reduzir as emissões de gases como óxidos de enxofre (SO_x), óxidos de nitrogênio (NO_x), materiais particulados (MP), compostos orgânicos voláteis (COV), dióxido de carbono (CO_2), altamente tóxicos e oriundos da queima de combustíveis fósseis (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB], s.d.) a fim de reduzir as consequências do efeito estufa e desacelerar o impacto gerado pelas mudanças climáticas no cenário global.

Entidades governamentais e organismos multilaterais, como a União Europeia (UE) e a Organização das Nações Unidas (ONU) por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Marítima Internacional (IMO), têm se dedicado a reformular ações em prol do meio ambiente. Governos têm aderido a essas estratégias porque, embora o setor de transporte marítimo abranja mais de 80% do comércio global, ele é responsável por mais de 70% das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e mudanças climáticas no mundo (ONU, 2022). Estudos precisam ser realizados para mapear os avanços dessas ações e discutir os desafios para um comércio marítimo sustentável. Portanto, a problemática do estudo foi: quais as implicações do uso do SP na sustentabilidade global?

2. Fundamentação teórica

2.1 Shore Power System

A expressão inglesa *shore power* (SP) é composta por dois termos: *shore* (escoramento) e *power* (energia) traduzida como fornecimento de energia terrestre às embarcações atracadas nos portos. Trata de um sistema alimentado por eletricidade que precisa do suporte em terra para tal suprimento (*European Maritime Safety Agency [EMSA]*, 2023).

Na literatura *shore power* tem vários sinônimos, incluindo *shore power system, cold ironing, onshore power supply, shore side electricity* e *alternative marine power* (Tratos, 2024). Não há um marco sobre o uso da expressão com tais aplicações, apesar de ser creditado ao porto de Gotemburgo na Suécia, ainda nos anos 2000 (Radwan et al., 2019), o Manual do Departamento de Navios da marinha norte-americana na década de 40 já descrevia o uso do fornecimento de energia de emergência em estaleiros e para fins militares (Wang et al., 2024). O SP tem sido alternativa na redução da emissão de poluentes, e mesmo assim o setor comercial marítimo enfrenta desafios quanto a sua implantação e planejamento de modernização de frotas que priorize matriz energética sustentável e a descarbonização (Unctad, 2023, 2024).

Shore power não deve ser confundido com *powershoring*, este último termo tem se destacado em algumas conferências latino-americanas e por entidades especializadas no desenvolvimento econômico como o Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe (CAF). Apesar de combinar as palavras com a variante do termo *shore* no gerúndio (Camargo, 2024), o CAF define *powershoring* como estratégia que descentraliza a produção para centros mais próximos que adotam sistemas com energia limpa e barata para angariar investimentos estrangeiros diretos àquelas plantas industriais (Arbache, 2022).

Já a estratégia *SP*, centra na dinâmica portuária, na qual as embarcações ao invés de utilizarem seu próprio sistema de carregamento de energia, por meio do uso de baterias e outros

mecanismos que resultam na emissão de poluentes pela queima de combustíveis fósseis, o navio é alimentado por um sistema navio-terra que utiliza energia limpa ou renovável.

O movimento de ancoragem e alimentação elétrica navio-terra já vinha sendo planejado na Europa desde a Diretiva 2014/94/EU do Parlamento Europeu e do Conselho promulgada em 22 de outubro de 2014 que disciplina à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos (União Europeia, 2014) e isso foi potencializado Agenda 2030 da ONU.

2.1 O Transporte Marítimo e a Sustentabilidade

A sustentabilidade tem liderado as ações globais nas últimas décadas, exemplificada pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), que estabelece 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. Baseado no conceito de *triple bottom line* de Elkington (1994, 2012), que aborda as dimensões econômica, social e ambiental da sustentabilidade, esse framework oferece direções para um futuro sustentável.

A preocupação com a sustentabilidade nos oceanos e o impacto do transporte marítimo tem crescido. O comércio marítimo, que se desenvolveu ao longo dos séculos como uma via econômica de trocas e mercantilização, possibilitou a circulação de bens como especiarias e metais preciosos, fortalecendo as bases do capitalismo moderno. A expansão para novas rotas também impulsionou a colonização, trazendo transformações sociais profundas e, muitas vezes, destrutivas, incluindo a opressão e a desigualdade em regiões habitadas por povos originários.

Do ponto de vista ambiental, o impacto das navegações foi intenso, com a exploração de recursos naturais e degradação marinha devido ao descarte de resíduos de modo inadequado, vazamento de óleos e emissões de gases nocivos ao meio ambiente. Esses problemas tem desafiado a integridade dos oceanos em um *trade-off* entre o avanço do setor de transporte marítimo e os efeitos na sustentabilidade global.

Mais de 80% do comércio internacional utiliza o transporte marítimo, sendo uma prática em expansão nos países emergentes, conforme evidenciado no site *Marine Traffic* que monitora em tempo real o movimento das embarcações globais (Andrade & Biazon, 2021; *Marine Traffic*, 2024; Unctad, 2021). E apesar do movimento contracionista econômico do comércio marítimo global devido à pandemia em 2022, o setor demonstrou retomada, com um crescimento de 2,4% em 2023 e uma previsão de crescimento entre 2024 e 2028 de mais de 2% (Unctad, 2024).

3. Metodologia

O estudo seguiu a análise bibliométrica, tendo como operacionalização a pesquisa nas bases de dados automatizadas *Web of Science* e *Scopus (Elsevier)* a partir do termo central *shore power*, utilizando aspas duplas para conferir resultados com frase exata, nesta ordem e com os mesmos termos (Souza, Moreira e Goulão, 2019) trouxe 741 estudos originalmente (Tabela 1), com base no quadro a seguir:

Tabela 1.

Caracterização Inicial da Pesquisa nas Bases Web of Science e Scopus

Bases de dados	String	Descrição	Quantidade de estudos
Web of Science	"shore power"	Topic (Title, abstract, Keywords)	257
Scopus	"shore power"	Article title, Abstract, Keywords	484
	Total de artigos		741

Nota. Elaborado pelos autores (2024) adaptado de Cunha, Alves e Silva (2023).

A revisão bibliométrica permitiu sistematizar a problemática de pesquisa a partir do PICO-C (Petticrew & Roberts, 2006) uma variante do método PICO lastreado pela prática baseada em evidências (Santos, Pimenta & Nobre, 2007) para sua construção (Tabela 2).

Tabela 2.

Definição dos Elementos de Pesquisa pelo Método PICO-C

Acrônimo	Definição	Descrição
P	*Population*	Estudos sobre as implicações do *SP* na sustentabilidade global.
I	*Intervention*	Contexto da aplicação do *SP* enquanto estratégia impulsionadora da sustentabilidade no ambiente global.
C	*Comparison*	Não se aplica. O estudo não é pautado em critérios de comparabilidade, mas na identificação de estudos que tratam do *SP*.
O	*Outcomes*	Redução da emissão de gases do efeito estufa e poluentes, descarbonização, aumento da sustentabilidade, identificação de práticas no ambiente de negócios global relacionadas ao *SP*.
C	*Context*	Cenário global do uso de SP alinhado à sustentabilidade.
Q_P	*Problemática*	Quais as implicações do uso do *SP* na sustentabilidade global?

Nota. Elaborado pelos autores (2024) adaptado de Cunha, Alves e Silva (2023).

Aos estudos triados automaticamente, foram aplicados inicialmente dois critérios de inclusão e cinco de exclusão. A inclusão seguiu as seguintes diretrizes: (I1) estudos primários, revisados aos pares, na busca automática nas bases na classificação *article title, abstract and keywords* que investigam as aplicações do *SP* no ambiente de negócios global. (I2) estudos não inclusos na busca automatizada e complementados por técnica de amostragem não probabilística de bola de neve (Goodman, 1961).

Os crivos de exclusão iniciais foram: (E1) estudos que não constam no idioma inglês. O idioma traz um alcance universal da pesquisa; (E2) estudos primários que não se apresentam no formato de artigos, por não considerarem a revisão aos pares; (E3) artigos que constam como acesso antecipado ou em fase intermediária de publicação. Foram considerados estudos em fase final pois já passaram por todos os crivos de avaliação dos periódicos; (E4) estudos com relevância temática nas categorias equivalentes: *business* e *management* (*Scopus*) e *business, management and accounting* (*Web of Science*) por centrar no campo de pesquisa da gestão.

Não houve crivo com restrição temporal, logo tal horizonte foi delimitado pela própria combinação de inclusão e exclusão. Diante disso, a evolução do processo de triagem dos estudos definiu a quantidade inicial de E1 a E4 (Tabela 3).

Tabela 3.

Evolução dos Crivos de Inclusão e Exclusão dos Estudos sobre Shore Power

Base	I1 / I2	E1	E2	E3	E4
WOS	257	255	171	164	1
Scopus	484	444	444	410	22
Total	741	699	615	574	23

Nota. Elaborado pelos autores (2024) adaptado de Cunha, Alves e Silva (2023).

As *strings* e seus códigos seguiram um padrão para ambas as bases de dados. Para a *Web of Science* obteve-se: (TS=("shore power")) AND ((LA==("ENGLISH") AND DT==("ARTICLE" OR "REVIEW") AND DT==("ARTICLE" OR "REVIEW") AND TASCA==("BUSINESS" OR "MANAGEMENT" OR "ECONOMICS") AND TASCA==("MANAGEMENT" OR "BUSINESS")) NOT (DT==("EARLY ACCESS"))). E na base *Scopus (Elsevier)* seguiu-se: TITLE-ABS-KEY ("shore power") AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE , "final")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "BUSI")).

Após a coleta dos estudos nas bases automatizadas, uma segunda etapa de triagem foi conferida a partir da leitura dos documentos. Foram excluídos da base: estudos duplicados (E5); estudos fora da temática (E6); estudos com textos curtos, resumos de até cinco páginas ou incompletos (E7); estudos com acesso pago ou indisponíveis (E8) (Cunha, Alves & Silva, 2023). Com tal ênfase, três estudos se enquadraram no crivo (E8), sendo excluídos da base. São eles, *Load forecasting research for shore power of ports* (Yang & Zhang, 2021), *Research on anticorrosion of port grounding device* (Yang et. al., 2022) e *Research on power load prediction of unmanned boats based on PSO-SVM* (Zhang et al., 2024). Ao final, 20 artigos compuseram a base (Tabela 4), formando o corpus para análise e discussão dos resultados deste estudo. Adotou-se o pacote bibliometrix do RStudio para a análise bibliométrica.

Tabela 4.

Estudos Primários Identificados (Ordem Alfabética de Autoria)

(Continua)

N	Autores	Título do Artigo	Ano
1	Baldasso et al.	Organic Rankine cycle-based waste heat recovery system combined with thermal energy storage for emission-free power generation on ships during harbor stays	2020
2	Buonamano et al.	Future pathways for decarbonization and energy efficiency of ports: Modelling and optimization as sustainable energy hubs	2023
3	Farrukh et al.	Assessment of the potential of local solar generation for providing ship shore power in the Norwegian harbour Port of Borg	2022
4	Fu et al.	Simulation model for economic analysis of shore power technique	2024
5	Kong et al.	Exploring the carbon abatement measures in maritime supply chain: a scenario-based system dynamics approach	2023
6	Lu et al.	Optimal shore power adoption decisions with government regulation considering port competition	2024
7	Luo et al.	Subsidy, tax or green awareness: Government policy selection for promoting initial shore power usage and sustaining long-run use	2024
8	Lv et al.	Safety and Security Study for Shore Power System: State-of-the-Art	2020
9	Moeis et al.	Sustainability assessment of the Tanjung Priok Port cluster	2020

Tabela 4.

Estudos Primários Identificados (Ordem Alfabética de Autoria)

(Conclusão)

N	Autores	Título do Artigo	Ano
10	Peng et al.	Cooperative optimization of shore power allocation and berth allocation: A balance between cost and environmental benefit	2021
11	Radwan et al.	Critical barriers to the introduction of shore power supply for green port development: case of Djibouti container terminals	2019
12	Sarantakos et al.	A robust Logistics-Electric framework for optimal power management of electrified ports under uncertain vessel arrival time	2024
13	Song et al.	Implications of government subsidies on shipping companies' shore power usage strategies in port	2022
14	Tseng e Ng	Assessment of port environmental protection in Taiwan	2021
15	Tseng e Pilcher	A study of the potential of shore power for the port of Kaohsiung, Taiwan: To introduce or not to introduce?	2015
16	Wan et al.	Evaluation of emission reduction strategies for berthing containerships: A case study of the Shekou Container Terminal	2021
17	Wang et al.	Shore power for reduction of shipping emission in port: A bibliometric analysis	2024
18	Wu e Shuaian	The shore power deployment problem for maritime transportation	2020
19	Yang et al.	Choice of technology for emission control in port areas: A supply chain perspective	2019
20	Zhen et al.	Analytical comparison on two incentive policies for shore power equipped ships in berthing activities	2022

Nota. Elaborado pelos autores (2024).

4. Resultados e discussão

Os resultados deste estudo são apresentados em duas etapas: a primeira demonstrando um mapeamento bibliométrico dos estudos e a segunda inserindo uma análise que envolve a compreensão dos estudos que foram selecionados pelos crivos de inclusão e exclusão.

4.1 Mapeamento bibliométrico dos estudos

O estudo revelou 23 artigos, oriundos de 14 fontes diferentes e 99 autores. A idade média dos estudos é de 2,48 anos por publicação e a média de citações por estudo foi de 21,26. A temática *shore power* apresentou-se com uma taxa de crescimento anual de 22,03%.

Ao analisar as palavras-chave obteve-se 271 palavras categorizadas das bases automatizadas Web of Science e Scopus e 96 atribuídas pelos próprios autores. Tais estudos não tiveram autoria única, mas enfatizaram parcerias tanto dentro dos países de origem quanto entre nações no cenário global. Isso é reforçado pelo índice médio de coautoria de mais de 4 autores por estudo, onde destes em média 4,348% é oriundo de parcerias internacionais.

O esforço internacional em dadas pesquisas ainda é discreto e necessita de maior força entre as redes de colaboração de pesquisas em dada temática.

Tabela 5.

Mapeamento dos Estudos Primários Analisados

Descrição	Resultados
Período de tempo da análise	2015:2024
Fontes	11
Total de estudos analisados	20
Taxa de crescimento anual (%)	19,58
Idade média dos estudos	2,60
Média de citações por estudo	24,45
Referências	917
Palavras-chave Plus (ID)	239
Palavras-chave do autor (DE)	84
Número de autores	92
Documentos de autoria única	0
Coauthoria por documento	4,80
Coautorias internacionais (%)	5,00
Artigos	17
Artigos de conferência	3

Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

A análise da evolução anual da produção científica revela no período de estudo de 2015 a 2024 que houve um incremento na busca pela pesquisa entre os anos de 2018 e 2020. Ficando estagnado o número de estudos entre 2020 e 2022 e retomando o crescimento dos esforços de pesquisa da temática a partir de 2023 (Figura 1).

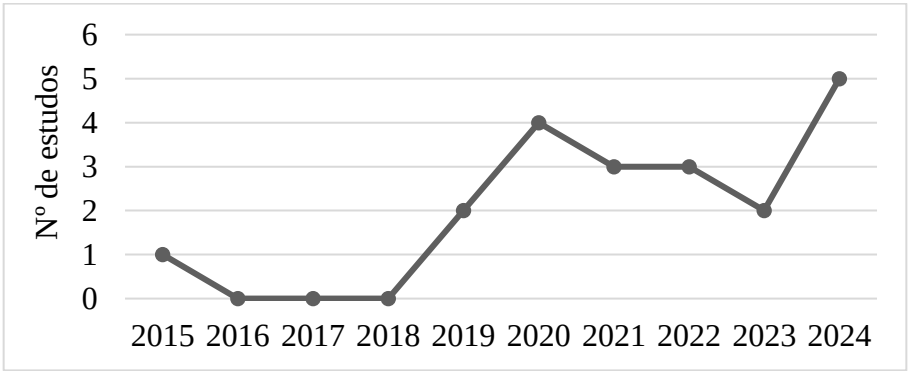

Figura 1. Evolução da produção científica anual

Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

Além disso, a média anual de citações dos estudos apresentou uma tendência de queda ao longo da série histórica analisada. Os maiores picos ocorreram em 2019, com 8,58 citações por documento, e em 2023, com 9,50 citações por documento. No entanto, em 2024, houve uma redução acentuada desse índice, atingindo a menor marca no período analisado, com 1,80 citações por documento (Figura 2).

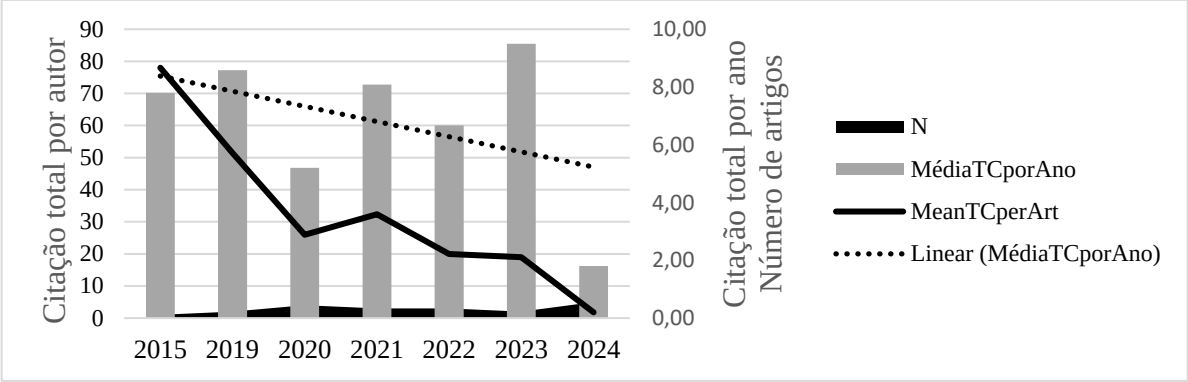

Figura 2. Média de citações por ano

Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024). N: número de artigos, MeanTCperArt: média total de citações por artigo, MeanTCperPear: média total de citações por ano.

Em uma análise sobre as afiliações dos autores que tem se mostrado mais relevantes para lastrear tais estudos, tem-se destaque para a Shangai Maritime University (SMU), entidade pública chinesa que centra em uma formação multidisciplinar com ênfase em logística e estudo dos oceanos. Em segundo lugar destaca-se a *Dalian University of Technology (DUT)* também chinesa, gerida pelo Ministério de Educação da China e em terceiro a *Newcastle University* do Reino Unido mas com atuação também em países asiáticos (Figura 3).

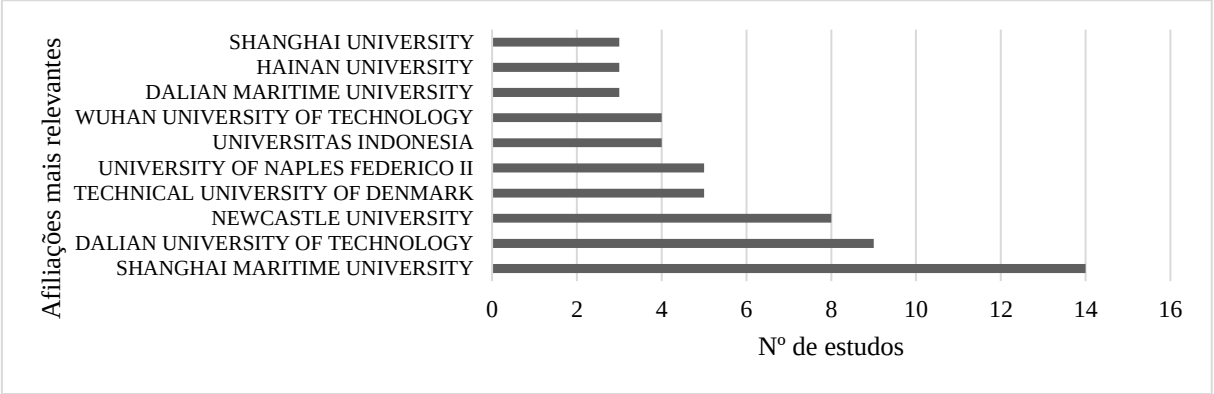

Figura 3. Afiliações mais relevantes

Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

Corroborando com o diagnóstico inicial realizado sobre a internacionalização das pesquisas,a maioria dos estudos sobre SP concentram-se no modo *single country publications (SCP*) com parcerias nacionais, apenas a China manteve o foco na internacionalização dos estudos com *multiple country publications* (MCP), onde há maior força de colaboração entre as autorias com parcerias internas e externas àquela nação (Figura 4).

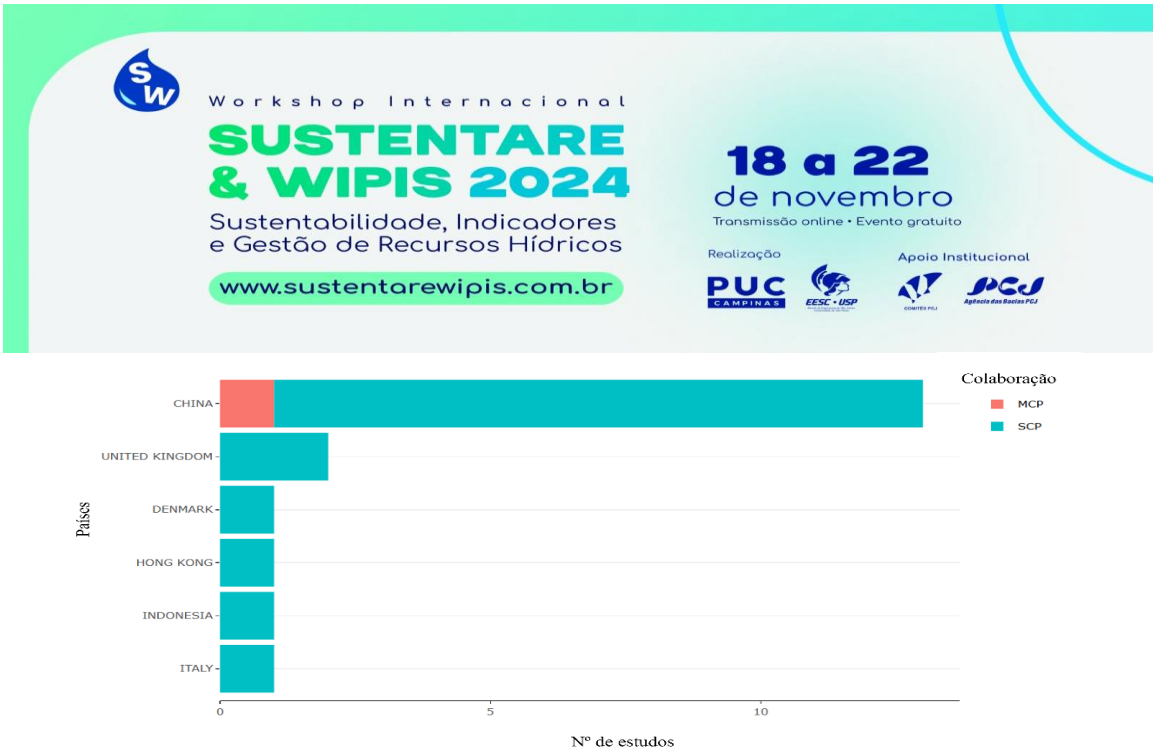

Figura 4. Localidades mais produtivas com base na autoria
Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

Isso corrobora que as localidades globais que mais produzem estudos sobre *shore power* estão no eixo asiático, com a China registrando 363 publicações no período analisado, representando 69,6% dos estudos na área. Destaque também para a região administrativa especial de Hong Kong, com 67 publicações. Entretanto, o estudo se estende a outras áreas geográficas, alcançando o eixo europeu, com a Itália apresentando 19 publicações e o Reino Unido, 4 estudos.

Em uma análise que envolve a caracterização de três campos que envolvem os países (AU_CO), os autores (AU) e as palavras-chave (DE) adentram na especificidade dos estudos na temática os Estados Unidos e a Holanda com destaque para aos termos *shore power*, *green port*, *shore power system e system dynamics* (Figura 5).

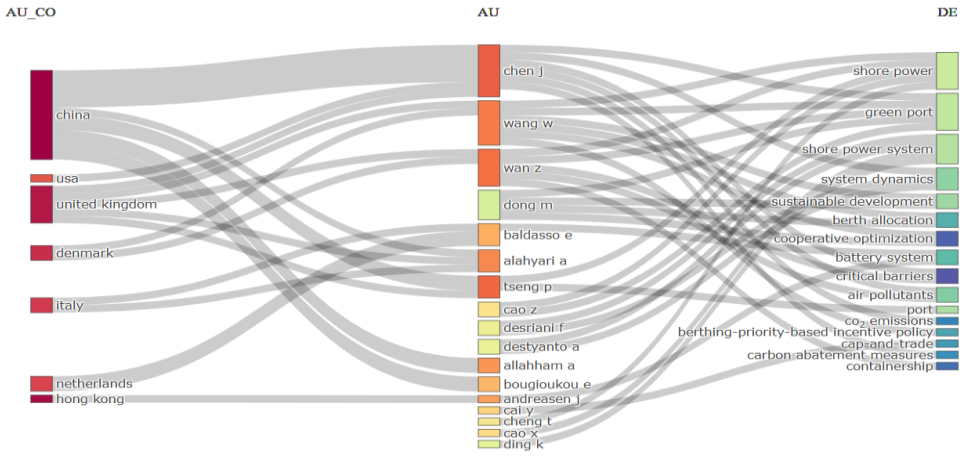

Figura 5. Gráfico de três campos: países, autoria e palavras-chave
Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

Quanto aos autores que mais avançaram nestes estudos tem-se Tseng, Wang, Chen e Wan. Esses termos ampliam as nuances de pesquisa que vem sendo realizadas sobre o *SP*. As expressões que seguem o fluxo de relevância bibliométrica incluem *critical barriers* (barreiras críticas), *battery system* (sistema de baterias), *air pollutants* (poluentes aéreos), *sustainable development* (desenvolvimento sustentável), *berth allocation* (alocação de atracadouro),

berthing-priority-based incentive policy (política de incentivos baseada na prioridade de atracação), *cap-and-trade* (comércio de emissões), *carbon abatement measures* (métricas de redução de carbono), *CO_2 emissions* (emissões de CO_2), *containership* (porta-contêineres) e *cooperative optimization* (otimização cooperativa).

Os estudos revelam uma crescente preocupação com as consequências do não uso de estratégias sustentáveis, como as ações envolvendo o SP. A análise de co-ocorrência identifica seis clusters: vermelho, que concentra discussões sobre SP e infraestrutura de navios; roxo, que foca no controle de emissões e tecnologia portuária; verde, que aborda a química dos elementos nocivos e custos de redução de emissão; cinza, que destaca a descarbonização e energias renováveis; laranja, que analisa contêineres, portos e vias de acesso; e rosa, menos explorado, que enfoca os benefícios socioeconômicos (Figura 6). A sustentabilidade marítima e a otimização da geração de energia são o foco, e abrangem desde a redução de poluentes e gases de efeito estufa até a incorporação de sistemas híbridos para evitar danos ambientais.

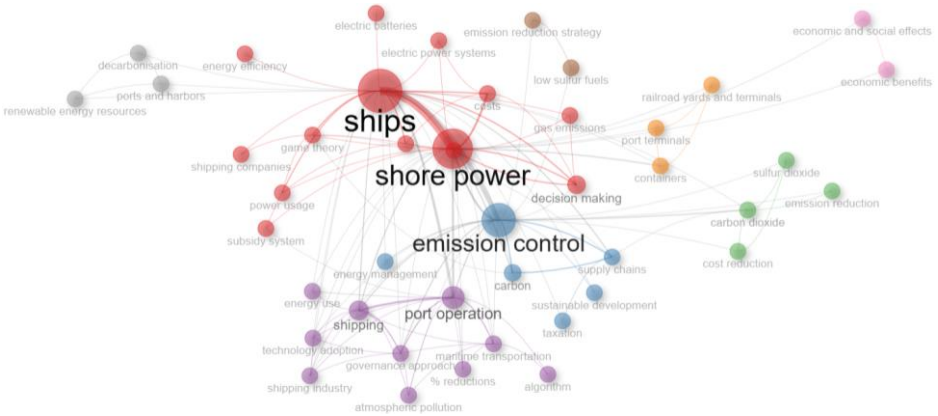

Figura 6. Rede de Co-Ocorrência
Nota. Elaborado pelos autores (2024) utilizando o RStudio (2024).

Tais estudos também destacam os ganhos financeiros e ambientais com a adoção de medidas de redução de carbono, que são possíveis através de políticas como o *cap-and-trade*. A alocação de atracadouro e os incentivos às prioridades de atracação tem-se revelado essenciais para uma gestão eficiente e sustentável de portos principalmente. Por fim, as palavras trazem que a busca por uma otimização cooperativa pode garantir que diferentes *stakeholders* utilizem de modo adequado os recursos envolvidos em suas práticas negociais.

4.2 Análise temática dos estudos

O estudo de Baldasso et al. (2020) propõe uma inovação ao integrar o armazenamento de energia térmica com a conversão de calor residual do motor principal em eletricidade, utilizando gases de escape durante a navegação e o Ciclo de Rankine Orgânico (CRO), que gera energia elétrica por meio de turbinas a vapor, para alimentar as embarcações. Na perspectiva da sustentabilidade ambiental, a simulação realizada com uma balsa hipotética, que demanda 1 MW de energia auxiliar ao atracar, indicou uma redução de 8% nas emissões de CO_2.

Do ponto de vista econômico, embora a implementação do sistema exija um investimento inicial quatro vezes maior que o de um sistema convencional com baterias, ele gera uma economia nas despesas anuais do porto, proporcionando uma redução de 82,07% nos

custos com combustível e manutenção (Baldasso et al., 2020). Um exemplo de tal economia em escala pode ser evidenciada no Porto de Borg, na Noruega, onde investimentos estatais no âmbito do projeto E-LAND tem sido realizados pela União Europeia por meio do Ministério do Clima e Meio Ambiente (MCE). O *shore power* em Borg demonstra uma solução que amplia a sustentabilidade do transporte marítimo ao armazenar energia fotovoltaica e usá-la quando o custo é alto para suportar as operações (Farrukh et. al., 2022). Entretanto, esse movimento requer cobertura tarifária que subsidie os custos associados ao uso da energia na introdução do sistema (Farrukh et. al., 2022).

Os estudos de Buonomano et al. (2023), em continuidade ao trabalho de Baldasso et al. (2020), investigam estratégias de descarbonização e eficiência energética em portos por meio da implementação de hubs de matriz energética limpa (*Ehubs*). Utilizando um modelo simulado em MATLAB, que incorpora diversas fontes de energia limpa, o objetivo é identificar um mecanismo ideal que promova tanto geração de valor econômico quanto soluções sustentáveis para operações portuárias. Nos estudos de Lu et al. (2024) isso é ampliado sinalizar que padrões de emissões de gases devem ser influenciados pela regulamentação governamental, e investimentos em tecnologia verdade a fim de reduzir a poluição sem incorrer gastos para os portos e limitar seus benefícios econômicos.

Ainda quanto à simulação de Buonomano et al. (2023) são adotadas fontes de energia diferentes, como sistemas combinados de refrigeração, calor e energia, produção de biogás, energia fotovoltaica, armazenamento em baterias e autogestão energética. Os resultados demonstraram que a efetividade na redução de gases de efeito estufa (GEE) e outros poluentes, requer planejamento portuário integrado.

Fu et al. (2024) e Kong et al. (2022) convergem ao destacar a importância dos sistemas shore power para a descarbonização no setor marítimo. Ambas as análises, utilizando modelos de simulação, mostram que a viabilidade econômica e a implementação desses sistemas dependem de fatores como políticas governamentais (subsídios, impostos e regulamentações), custos de energia e combustível. A China, por exemplo, já implementa medidas regulatórias para limitar as emissões de enxofre em 0,1% nos combustíveis marítimos.

Um caso adicional é o do Porto de Kaosiung em Taiwan, analisado por Tseng e Pilcher (2015). Apesar do custo elevado de implantação do sistema, o estudo aponta para a redução das emissões de gases e a melhora nas condições socioeconômicas dos operadores e da comunidade ao redor do porto. No entanto, Tseng e Pilcher (2015) alertam que essa implementação depende de políticas legislativas conscientes. E em caso de impossibilidade do uso do *shore power*, estudos tem apontado alternativas como o uso de combustíveis com baixo teor de enxofre e outros poluentes e o aumento da eficiência de guindastes portuários (Wan et al., 2021; Yang et al. 2019).

A combinação de políticas que promovam a sustentabilidade e a viabilidade econômica é apontada na maioria dos alguns estudos (Fu et al., 2024; Kong et al., 2022), e isso revela também a necessidade de que essas ações estejam conjugadas com a participação ativa das empresas e de toda a cadeia portuária. Torna-se imperativo a definição de metas governamentais para emissões de tais gases no mercado, e uma ênfase à expansão do uso de sistemas *shore power* nos portos (Fu et al., 2024; Luo et al., 2024; Wan et al., 2021).

Lu et al. (2024) avançam em dados estudos ao utilizar a teoria dos jogos na análise sob o prisma das recompensas e punições para determinar o nível ótimo da estratégia de *shore*

power. Os autores observam que o uso dessa estratégia depende da regulamentação governamental. À medida que o governo amplia os coeficientes de regulação para promover o uso do sistema e força a redução das emissões de gases poluentes, a cobertura nos portos aumenta, inclusive naqueles com menor infraestrutura, ampliando a competitividade entre eles. Seguindo uma linha semelhante, Song et al. (2022) e Wu e Shuaian (2020) analisam as implicações dos subsídios governamentais. Tais recursos tendem a atender melhor os participantes da cadeia portuária, e impõem um ônus ao governo, que precisa escolher os melhores métodos de intervenção (Song et al., 2022). Os estudos de Wu e Shuaian (2020) buscaram exemplificar por meio de simulação matemática e algorítmica, uma base teórica para que os governos consigam esse planejamento eficaz dos subsídios portuários.

A ação de modernização dos portos deve pautar a gradualidade para não trazer ineficácia econômica aos portos por aumento dos custos (Lu at al., 2024; Luo et al., 2024) como também deve observar os requisitos de segurança das aplicações do *shore power* para que haja uma infraestrutura portuária que também valorize a segurança para seus usuários (Lv et al., 2024).

Moeis et al. (2020) apresentam um *framework* para avaliar a sustentabilidade em clusters portuários, analisando duas políticas: a zona de livre comércio e o uso do sistema *shore power*. A regulação governamental e a combinação das políticas são a melhor solução para a redução das emissões de gases e geração de valor econômico no setor de transportes marítimos. O estudo centra no caso da área portuária de Tanjung Priok, no norte de Jacarta, Indonésia.

Peng et al. (2021) analisam o sistema *shore power* em postos de ancoragem, visando entender como maximizar benefícios ambientais e reduzir custos. O estudo enfatiza o tempo de atracação e os impostos ambientais. As taxas de impostos, sejam altas ou baixas, têm menor impacto na otimização dos sistemas, bem como na redução de emissões de gases, com taxas médias apresentando maior variabilidade. Em relação ao tempo de atracação nos portos, as emissões podem ser reduzidas a zero independemente de tal variação. Neste caso, os resultados dependem principalmente da tomada de decisões baseadas em níveis de preferências.

Estudos tem identificado barreiras ao *shore power*, como no exemplo do terminal de contêineres do porto de Djibuti, África. A primeira delas inclui custos de instalação e operação que fazem parte da dimensão econômica. O aspecto financeiro como os subsídios é observado nos estudos de Tseng & Ng (2021) como critério principal, seguido das políticas ambientais portuárias e de amparo tecnológico ao se aprofundar pioneiramente na realidade de Taiwan. Os autores sugerem o uso de moldes híbridos que prestigiem o desenvolvimento de ações verdes.

Barreiras como a falta de infraestrutura portuária e capacidade de eletricidade insere-se nas implicações da dimensão técnica (Radwan et al., 2019). A decisão sobre encargos portuários e o equilíbrio entre a redução de emissões e a valoração econômica resgata a dimensão gerencial considerada por Tseng e Pilcher (2015) como estratégica. Já a descentralização e a não aplicação universal de normativas entre as nações enfatizam barreiras da dimensão regulatória. E por último, a matriz energética adotada e as combinações derivadas desta podem condicionar eficiência do sistema *shore power*, e isso tem refletido limitações ao avanço da dimensão ambiental (Radwan et al., 2019). Com as crises econômicas globais, o desafio são as empresas optarem por reduzir as emissões em detrimento à sobrevivência no mercado (Wang et al., 2024).

Complementando tais estudos, Sarantakos et al. (2024) propõem um modelo de otimização do *shore power* que considera as incertezas relacionadas ao abastecimento de energia, como por exemplo, aquelas decorrentes do tempo de chegada das embarcações nos

portos. O estudo critica abordagens que desconsideram a volatilidade das operações e desenvolve uma estrutura simulada que permite reduzir custos operacionais e aumentar a descarbonização, apesar de o custo médio ser 0,3% maior em comparação com modelos determinísticos.

Embora o SP traga vantagens, Wang et al. (2024) aponta que uma das desvantagens percebidas é o tempo de conexão e desconexão da embarcação que pode gerar congestionamentos marítimos e ineficiência. E apesar disso, a literatura corrobora que mesmo o SP sendo promissor para a sustentabilidade, tem uma taxa de implantação baixa, o que requer um pacote de políticas constitutivas ou regulatórias de incentivo governamental como subsídios, imposto sobre o carbono e até mesmo a obrigatoriedade do uso do SP nas plantas portuárias (Zhen et al, 2022).

5. Conclusões

Este estudo enfatizou por meio de uma revisão bibliométrica a análise de estudos que investigam a estratégia *shore power* (SP) no contexto global. Buscou-se tal temática a fim de ampliar as discussões sobre a sustentabilidade global no tocante ao contexto do comércio marítimo, que tem representatividade em mais de 80% do mercado global e em mais de 70% das emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes, agindo diretamente sobre questões climáticas no mundo.

A busca nas bases *Web of Science* e *Scopus* permitiu a identificação de 741 estudos dos quais 20 foram selecionados por relevância temática. A análise destes estudos torna evidente que a estratégia *shore power* traz mecanismo satisfatório no contexto dos transportes aquaviários globais.

A literatura especializada destaca que o SP oferece vantagens, como a redução de emissões de gases e agentes poluentes, benefícios socioeconômicos, bem-estar das comunidades do entorno portuário, fortalecimento das políticas e incentivos governamentais, e descarbonização por meio de matrizes energéticas limpas, seguras e pouco onerosas. No entanto, o SP enfrenta desvantagens, incluindo altos custos de implementação, tempo de conexão e desconexão das embarcações que podem causar congestionamentos e ineficiências operacionais, além da dependência de subsídios governamentais e regulamentações, que estão ligadas à capacidade financeira do ente estatal e vontade política dos governos para promover a sustentabilidade.

Apesar da maioria dos estudos enfatizarem a eficiência da redução das emissões sem comprometer o perfil econômico da indústria marítima, sugere-se que futuros estudos aprofundem a investigação sobre os impactos socioeconômicos do SP em comunidades portuárias, destacando melhorias na qualidade de vida e na geração de emprego e renda. Outra abordagem poderia analisar se há um nível ótimo para subsídios governamentais a fim de estabelecer um *framework* mínimo para a implementação do SP. Tal *framework* deve considerar os diferentes estágios de desenvolvimento dos portos e suas capacidades relacionadas ao uso de tecnologias verdes, parcerias estratégicas, infraestrutura e legislação.

Conclui-se que a estratégia SP é uma alternativa viável para o alcance da sustentabilidade na indústria marítima, embora sua eficácia dependa da superação de barreiras econômicas, técnicas, gerenciais, regulatórias e ambientais. Alguns portos espalhados pelos continentes asiático e europeu vem implementando tais estratégias com suporte governamental e de

agências de pesquisa. Portanto, a expansão do SP em plantas portuárias requer maior integração das políticas governamentais locais alinhadas às diretrizes globais, a fim de garantir que a cadeia produtiva marítima atue priorizando ações sustentáveis sem comprometer a competitividade e a geração de valor socioeconômico.

6. Referências

Abarche, J. (2022). *Powershoring*. https://www.caf.com/pt/conhecimento/visoes/2022/11/powershoring/

Andrade, B., & Biazon, T. (2021). *O transporte marítimo e o uso sustentável do oceano*. https://jornal.usp.br/artigos/o-transporte-maritimo-e-o-uso-sustentavel-do-oceano/

Baldasso, E., Gilormini, T. J. A., Mondejar, M. E., Andreasen, J. G., Larsen, L. K., Fan, J., & Haglind, F. (2020). Organic Rankine cycle-based waste heat recovery system combined with thermal energy storage for emission-free power generation on ships during harbor stays. *Journal of Cleaner Production*, *271*(122394), 122394. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122394

Buonomano, A., Del Papa, G., Giuzio, G. F., Palombo, A., & Russo, G. (2023). Future pathways for decarbonization and energy efficiency of ports: Modelling and optimization as sustainable energy hubs. *Journal of Cleaner Production*, *420*(138389), 138389. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138389

Camargo, L. H. (2024). *Em tempos de descarbonização, o caminho é o 'powershoring'.* https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/brasil-eua/noticia/2024/05/22/em-tempos-de-descarbonizacao-o-caminho-e-o-powershoring.ghtml

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo [CETESB]. (s.d.). *Poluentes*. https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/

Cunha, A.G. M., Alves, J. L., & Silva, A. B. (2024). Os ventos do norte "ainda" movem moinhos: clivagens do neoliberalismo global na América do Sul. *Revista Ciência Geográfica*, *27*(4), 2441-2463. https://doi.org/10.18817/26755122.27.4.2023.3567

Elkington, J. (1994). Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. *California Management Review*, 36 (2), 90-100. https://doi.org/10.2307/41165746

European Maritime Safety Agency [EMSA]. (2023). *Shore-Side Eletricity.* https://www.emsa.europa.eu/electrification/sse.html

Farrukh, F., Dunks, C., Hoffmann, M., & Dypvik, P. O. (2022). Assessment of the potential of local solar generation for providing ship shore power in the Norwegian harbour Port of Borg. *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/EEM54602.2022.9921031

Fu, R., Li, J., Zhu, J., Yu, J., Han, J., & Tang, Y. (2024). Simulation model for economic analysis of shore power technique. Em *Advances in Transdisciplinary Engineering*. IOS Press. https://doi.org/10.3233/ATDE240004

Jørgensen, A.H. (2020). *Shore Power Systems*. PowerCon, Denmark. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/shore-power-systems-powercon.pdf

Kong, Y., Liu, J., & Chen, J. (2022). Explorando as medidas de redução de carbono na cadeia de suprimentos marítima: uma abordagem de dinâmica de sistemas baseada em cenários. *International Journal of Production Research, 61* (18), 6131–6152. https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2088427

Lu, B., Xu, X., Qin, X., & Cheng, T. C. E. (2024). Optimal shore power adoption decisions with government regulation considering port competition. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *188*(103629), 103629. https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103629

Luo, C., Zhou, Y., Mu, M., Zhang, Q., & Cao, Z. (2024). Subsidy, tax or green awareness: Government policy selection for promoting initial shore power usage and sustaining long-run use. *Journal of Cleaner Production*, *442*(140946), 140946. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140946

Lv, Y., Cao, X., Zhou, Q., Zhao, W., & Ding, K. (2020). Safety and security study for shore power system: State-of-the-art. *2020 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1306-1310. https://doi.org/10.1109/IEEM45057.2020.9309950

Marine Traffic. (2024). Marine Traffic. https://www.marinetraffic.com/

Moeis, A.O., Desriani, F., Destyanto, A.R., Zagloel, T.Y., Hidayatno, A., & Sutrisno, A., 2020. Sustainability Assessment of the Tanjung Priok Port Cluster. *International Journal of Technology*. Volume 11(2), pp. 353-363. https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i2.3894

Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2024). *Ocean shipping and shipbuilding.* https://www.oecd.org/ocean/topics/ocean-shipping/

Organização das Nações Unidas [ONU]. (2022). Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem o planeta? https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta

Peng, Y., Dong, M., Li, X., Liu, H., & Wang, W. (2021). Cooperative optimization of shore power allocation and berth allocation: A balance between cost and environmental benefit. *Journal of Cleaner Production*, *279*(123816), 123816. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123816

Radwan, M. E., Chen, J., Wan, Z., Zheng, T., Hua, C., & Huang, X. (2019). Critical barriers to the introduction of shore power supply for green port development: case of Djibouti container terminals. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *21*(6), 1293–1306. https://doi.org/10.1007/s10098-019-01706-z

Santos, C. M. C., Pimenta, C. A. M., & Nobre, M. R. C. (2007). The PICO strategy for the research question construction and evidence search. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, *15*(3), 508-511. https://doi.org/10.1590/S0104-11692007000300023

Sarantakos, I., Nikkhah, S., Peker, M., Bowkett, A., Sayfutdinov, T., Alahyari, A., Patsios, C., Mangan, J., Allahham, A., Bougioukou, E., Murphy, A., & Pazouki, K. (2024). A

robust Logistics-Electric framework for optimal power management of electrified ports under uncertain vessel arrival time. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *10*(100144), 100144. https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100144

Song, Z., Tang, W., Zhao, R., & Zhang, G. (2022). Implications of government subsidies on shipping companies' shore power usage strategies in port. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *165*(102840), 102840. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102840

Tratos Group. (s.d.). *Shore Power, Cold Ironing or Shore Side Electricity*. https://tratosgroup.com/tratos-cable-academy/shore-power-cold-ironing-or-shore-side-electricity

Tseng, P.-H., & Ng, M. (2021). Assessment of port environmental protection in Taiwan. *Maritime Business Review*, *6*(2), 188–203. https://doi.org/10.1108/mabr-04-2020-0022

Tseng, P.-H., & Pilcher, N. (2015). A study of the potential of shore power for the port of Kaohsiung, Taiwan: To introduce or not to introduce? *Research in Transportation Business & Management*, *17*, 83–91. https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2015.09.001

Unctad. (2021). Review of maritime transport 2021. https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2021

Unctad. (2023). Review of maritime transport 2023. https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023

Unctad. (2024). Review of maritime transport 2024. https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024

Wan, Z., Zhang, T., Sha, M., Guo, W., Jin, Y., Guo, J., & Liu, Y. (2021). Evaluation of emission reduction strategies for berthing containerships: A case study of the Shekou Container Terminal. *Journal of Cleaner Production*, *299*(126820), 126820. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126820

Wang, J., Li, H., Yang, Z., & Ge, Y.-E. (2024). Shore power for reduction of shipping emission in port: A bibliometric analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *188*(103639), 103639. https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103639

Wu, L., & Wang, S. (2020). The shore power deployment problem for maritime transportation. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *135*(101883), 101883. https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.101883

Yang, L., Cai, Y., Wei, Y., & Huang, S. (2019). Choice of technology for emission control in port areas: A supply chain perspective. *Journal of Cleaner Production*, *240*(118105), 118105. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118105

Zhen, L., Wang, W., & Lin, S. (2022). Analytical comparison on two incentive policies for shore power equipped ships in berthing activities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *161*(102686), 102686. https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102686