



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, CONTÁBEIS E ADMINISTRATIVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA APLICADA
MESTRADO EM ECONOMIA

PRISCILA DA SILVA PEIXOTO

IMPACTOS ECONÔMICOS DA BIOINCRUSTAÇÃO NO SETOR DE TRANSPORTE
AQUAVIÁRIO NO BRASIL, 2022

RIO GRANDE - RS

2024

Priscila da Silva Peixoto

Impactos econômicos da bioincrustação no setor de transporte aquaviário no Brasil,
2022

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada - PPGE da Universidade Federal do Rio Grande - FURG como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia Aplicada.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Raggi Abdallah
Coorientador: Prof. Dr. Márcio Nora Barbosa

Rio Grande - RS

2024

Ficha Catalográfica

P379i Peixoto, Priscila da Silva.

Impactos econômicos da bioincrustação no setor de transporte aquaviário no Brasil, 2022 / Priscila da Silva Peixoto. – 2024.
40 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Rio Grande/RS, 2024.

Orientadora: Dra. Patrícia Raggi Abdallah.

Coorientador: Dr. Márcio Nora Barbosa.

1. Bioincrustação 2. Transporte 3. Navio 4. Combustível
I. Abdallah, Patrícia Raggi II. Barbosa, Márcio Nora III Título.

CDU 656

Catálogo na Fonte: Bibliotecário José Paulo dos Santos CRB 10/2344



ATA DE REUNIÃO, DE 18 DE JULHO DE 2024

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos 18 dias do mês de Julho de dois mil e vinte e quatro, às 15h, realizou-se a defesa de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, nível mestrado, da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, no ambiente virtual da SEaD, cuja Banca foi constituída pelos professores: Patrízia Raggi Abdallah, Gibran da Silva Teixeira e Marianne Costa Oliveira, para arguir da mestranda Priscila da Silva Peixoto. Após a apresentação da dissertação intitulada “*Impactos econômicos da bioincrustação no setor de transporte aquaviário*” e a arguição dos avaliadores seguida de defesa, a Banca reuniu-se e considerou o trabalho aprovado, emitindo o parecer a seguir:

O trabalho foi avaliado e aprovado pela banca examinadora.

Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente Ata que após lida e aprovada será assinada pelos membros componentes da Banca.

Documento assinado digitalmente



PATRIZIA RAGGI ABDALLAH
Data: 02/08/2024 16:11:32-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a Patrízia Raggi Abdallah
Orientadora

Documento assinado digitalmente



GIBRAN DA SILVA TEIXEIRA
Data: 18/07/2024 18:30:29-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Gibran da Silva Teixeira
FURG

Documento assinado digitalmente



MARIANNE COSTA OLIVEIRA
Data: 18/07/2024 16:51:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof.^a Marianne Costa Oliveira
UESC

Priscila da Silva Peixoto

Impactos econômicos da bioincrustação no setor de transporte aquaviário no Brasil,
2022

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada - PPGE da Universidade Federal do Rio Grande - FURG como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia Aplicada, aprovada pela comissão de avaliação abaixo assinada:

Prof. Dra. Patrícia Raggi Abdallah
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
(Orientadora)

Prof. Dr. Márcio Nora Barbosa
Universidade Federal do Rio Grande - FURG
(Coorientador)

Prof. Dr. Gibran da Silva Teixeira
Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Prof. Dra. Marianne Costa Oliveira
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

RESUMO

Os bioincrustantes são microorganismos que se fixam e se proliferam em superfícies submersas a água, e no caso dos navios, se estabelecem em maior quantidade nos cascos e nas hélices. O objetivo desse estudo é mensurar o impacto econômico e ambiental advindos da presença de bioincrustantes nos cascos e nas hélices dos navios que atracaram nos portos brasileiros no ano de 2022. Para alcançá-lo, foi construído um banco de dados com informações de navios, registrados no *International Maritime Organization* (IMO), organizado os dados e aplicado etapas de cálculos para estimar os impactos propostos, usando metodologia proposta em *GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project*. Os valores adicionais no consumo de combustível e na emissão de gás carbônico foram simulados através dos níveis de incrustação de 20% e 55% em cascos e hélices das embarcações, respetivamente. De acordo com as estimativas obtidas para a frota que trafegou na costa brasileira em 2023, a majoritária parte de navios era responsável pela movimentação de cargas, e estas apresentaram valores maiores de consumo de combustível e emissão de poluentes. Dentre as embarcações classificadas como navio de movimentação de carga destacaram-se com um consumo médio anual aumentado o navio porta-contêiner, com um consumo aumentado médio anual aumentado de US\$9.755.076,02, e o transportador de veículos com um consumo aumentado médio anual aumentado estimado em US\$4.333.771,75. E para as embarcações classificadas como apoio marítimo e portuário, as embarcações do tipo Offshore e Navi de Serviços, foi estimado um consumo aumentado médio de US\$389.427,50.

Palavras-chave: Bioincrustação; transporte; navio; combustível.

ABSTRACT

Biofouling are microorganisms that attach and proliferate on surfaces submerged in water, and in the case of ships, they establish themselves in greater quantities on hulls and propellers. The objective of this study is to measure the economic and environmental impact reported by the presence of biofouling in the hulls and propellers of ships that docked in Brazilian ports in 2022. To achieve this, a database was built with information from ships, registered at the International Maritime Organization (IMO), organized the data and applied calculation steps to estimate the proposed impacts, using the methodology proposed in the GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project. Additional values in fuel consumption and carbon dioxide emissions were simulated using fouling levels of 20% and 55% on vessel hulls and propellers, respectively. According to estimates obtained for the fleet that traveled along the Brazilian coast in 2023, the majority of ships were responsible for delivering cargo, and these values are considered higher for fuel consumption and pollutant emissions. Among the special vessels, such as cargo delivery ships, the container ship with an average annual consumption started of US\$9.755.076,02 and the vehicle transporter with an average annual consumption estimated in US\$4.333.771,75. And for strategic vessels such as maritime and port support, Offshore and Service Navi type vessels, an average consumption of US\$389.427,50 was estimated.

Keywords: Biofouling; transport; ship; fuel.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das características dos dados	19
Tabela 2 - Caracterização dos navios de movimentação de cargas	20
Tabela 3 - Caracterização dos navios de Apoio Marítimo e Portuário.....	21
Tabela 4 - Consumo de combustível VLSFO para navios de carga, em dólar americano, a preços de 2023	27
Tabela 5 - Consumo de combustível MGO para navios de carga em dólar	28
Tabela 6 - Consumo de VLSFO no Apoio marítimo e Portuário em dólar	29
Tabela 7 - Consumo de MGO em navios de apoio marítimo e portuário em dólar ..	29
Tabela 8 - Emissão de CO2 para navios de carga em dólar americano	30
Tabela 9 - Emissão de CO2 para Navios de Apoio Marítimo e Portuário em dólar americano, a preços de 2023	31

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	24
Equação 2	24
Equação 3	24
Equação 4	25
Equação 5	26
Equação 6	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ	Agência Nacional de Transporte Aquaviário
CO2	Dióxido de Carbono
Dwt	Deadweight tonnage
EEI	Espécies Exóticas Invasoras
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GEF	<i>Global Environment Facility</i>
IMO	<i>International Maritime Organization</i>
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MGO	<i>Marine Gas Oil</i>
ODS	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
UNDP	<i>United Nations Development Programme</i>
VLSFO	<i>Very Low Sulphur Fuel Oil</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Bioincrustação e espécies exóticas invasoras	12
2.2	Transporte marítimo e bioincrustação.....	13
2.3	Bioincrustação e emissão de gases de efeito estufa	15
2.4	Formas de controle de bioincrustantes.....	16
3	METODOLOGIA.....	17
3.1	Desenvolvimento do banco de dados.....	18
3.2	Cálculo do impacto da bioincrustação no consumo de combustíveis e emissão de CO2	22
3.2.1	Simulação da penalidade devido a bioincrustação	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS	34
	ANEXO	37
	Anexo I - Tabelas de coeficientes.....	37

1 INTRODUÇÃO

De acordo com as Organização das Nações Unidas (ONU), o transporte marítimo de cargas, em toneladas por quilômetro, é estimado como o de menos poluente quando comparado aos transportes rodoviário e ferroviário, mas existe a preocupação em reduzir as suas emissões de gases na atmosfera, pois esse valor pode aumentar, caso não haja um controle adequado destas emissões no ambiente (ONU, 2008). Diretamente ligado às emissões de gases do efeito estufa por parte do transporte naval, está o processo da bioincrustação presente no transporte marítimo, que pode ser definida como o acúmulo de microrganismos ou cracas no casco dos navios, nas hélices e em outras superfícies que ficam submersas à água (BRANDT et al., 2016; MITCHELL; BENSON, 1980). Tal aglomeração aumenta o arrasto do navio, demandando aumento da sua potência para alcançar uma determinada velocidade e, por conseguinte, o consumo de combustível também aumenta, implicando em maior gasto de combustível e emissão adicional de dióxido de carbono que o volume já presente no processo de navegação corrente da frota (MOSUNOV; EVSTIGNEEV, 2021).

Estima-se que mais de 80% do transporte mundial de cargas ocorre por meio do setor de transporte marítimo (ONU, 2023), e além disso, de acordo com a literatura os custos de combustíveis correspondem entre 50% e 70% dos custos totais de operação dos navios (SANG et al., 2023; KRETSCHMANN; BURMEISTER; JAHN, 2017). Assim sendo, destaca-se a importância em investigar o impacto da bioincrustação nesses custos, que afetam tanto os lucros das indústrias de transporte marítimo, além de contribuírem para elevar os danos ao ambiente, pela aceleração do efeito estufa.

Importante, também, destacar que o impacto da bioincrustação em cascos de navios, afetando os custos de combustíveis e também, contribuindo para aumento da emissão dos gases efeito estufa, não será o mesmo para todas as embarcações que trafegam no mar do Brasil.

Na indústria do transporte marítimo, segundo a *International Maritime Organization* (MEPC, 2023), essa questão da bioincrustação é uma das maiores preocupações atuais, pois além de afetar financeiramente a indústria, pelo custo da queima adicional de combustível fóssil, e o clima, pela emissão adicional de gases efeito estufa contribuindo para as mudanças climáticas, também afeta diretamente o

ambiente marinho, através da disseminação de espécies exóticas invasoras (EEI), efeito direto ressaltado no Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 14, que trata pela saúde dos oceanos. Embora não seja o tema de análise objetiva deste estudo, uma referência sobre EEI será enfatizada nesse estudo, por sua presença estar intrinsecamente relacionada aos bioincrustantes presentes nos cascos dos navios. Gittenberger et al. (2011) constatam esses incrustantes em cascos de navios como um dos principais meios de introdução de bactérias invasoras onde anteriormente não teriam chegado, sendo, portanto, distribuídas em todo o mundo por essa via.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o impacto de bioincrustantes na indústria dos transportes marítimos de cargas e descargas nos portos brasileiros, e os impactos adicionais de efeito estufa, estimando custos adicionais de consumo de combustíveis marítimos por embarcações que atracaram no país no ano de 2022, bem como custos adicionais de emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera.

Especificamente, os objetivos deste trabalho são: a) Caracterizar a indústria de transporte marítimo por sua tipologia de cargas, volumes embarcados e desembarcados nos portos da costa brasileira no ano de 2022; b) Analisar o impacto da bioincrustação no consumo de combustível da frota de 2022, com base em coeficientes de eficiência/eficácia de consumo de combustíveis; c) Analisar o impacto do consumo de combustíveis aumentados da frota brasileira de navios na emissão de gases de efeito estufa.

Esse trabalho é formado por mais cinco capítulos e uma conclusão. O segundo capítulo faz uma revisão da literatura que versa sobre bioincrustação e seu contexto no estudo; o terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos. O quinto capítulo apresenta os resultados e a discussão auferida, e por fim, é apresentada a conclusão deste estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos referentes ao impacto econômico da bioincrustação são escassos no mundo, sobretudo não existe no Brasil. Esta sessão conta com uma revisão de literatura dos relevantes estudos relacionados à problemática em questão, contextualizando temas trabalhado na pesquisa, tais como a bioincrustação e sua relação com as espécies exóticas invasoras, bioincrustantes no transporte marítimo, bioincrustação e a emissão de gases de efeito estufa, e formas de controle deste problema.

2.1 Bioincrustação e espécies exóticas invasoras

A bioincrustação no transporte marítimo, além de afetar os custos e causar impacto ambiental com impactos que provocam a emissão de dióxido de carbônico, também pode ser um vetor de introdução das espécies exóticas, sendo essas denotadas como as que não pertencem a uma determinada região, mas são introduzidas, sendo exógenas à área em que ocupam.

No Brasil, um trabalho realizado durante dois anos analisou navios de perfuração, petroleiros e cargueiros e identificou que os cascos têm se mostrado um vetor potente para a introdução de espécies exóticas na região costeira do Brasil. Foram identificadas 118 espécies, sendo 22 espécies exóticas (FERREIRA; GONÇALVES; COUTINHO, 2006).

De acordo com Katsanevakis et al. (2014), o transporte marítimo é o principal meio pelo qual as espécies exóticas foram introduzidas em mares europeus, seguido pelo Canal Suarez e pela aquicultura respetivamente. Em um estudo focado em detetar qual o principal vetor das espécies não nativas do Mar do Norte por meio de uma amostra de 186 navios que atracaram na Alemanha, foi identificado um total de 257 espécies, das quais 57% das espécies da amostra foram consideradas não nativas da região. Ademais, também foi reportado que 38% dessas espécies exóticas estavam na água de lastro, 57 % tanque de lastro de sedimentos e 96% estavam nos cascos (GOLLASCH, 2002).

Em conformidade com relatório *Risk analysis of hull fouling on small to medium sized boats as an import vector of exotic species in the Wadden Sea* (GITTENBERGER et al., 2011), as espécies não-nativas como a ostra japonesa *crassostrea* causam impactos ambientais e econômicos no Mar Frísio, tais quais

afetam o ciclo da cadeia alimentar e a heterogeneidade do habitat. E de acordo com um teste realizado em duas docas no porto de Breskens, a ostra japonesa *crassostrea* implica em custos maiores, pois demorou cinco vezes mais tempo para ser removida em relação aos mexilhões, que são uma espécie nativa. Ademais, foi estimado que as espécies bioinvasoras compreendem um gasto anual mínimo de 207 mil euros.

Os avanços no comércio e no transporte internacional permitem que espécies exóticas percorram longas distâncias, e que, portanto, sejam introduzidas em outras localidades. Existem conflitos sobre essa introdução de espécies exóticas, pois elas podem ser usadas como iscas e alimento para espécies nativas, ou até mesmo podem ser usadas para aumentar uma produção. No entanto, as espécies bioinvasoras podem desencadear a perda da produção na aquicultura, pois as espécies nativas podem ser predadas pelas que não pertencem aquele determinado habitat. Como exemplo deste conflito existe o caso em que ocorreu a introdução da espécie *Lates niloticus* no Lago Vitória, o qual transformou a pesca artesanal em uma pesca industrial. Mas com o tempo espécies nativas foram predadas pela espécie invasora *Lates niloticus*, desencadeando a perda de centenas de espécies locais (ARTHUR; SUBASINGHE, 1999).

2.2 Transporte marítimo e bioincrustação

O transporte marítimo de cargas é de substancial importância para o comércio internacional. Segundo a ONU (2021), o transporte de cargas marítimo é responsável por cerca de 80% do comércio internacional de cargas no mundo. Enquanto outros estudos estimam em torno de 90% do transporte de cargas entre continentes ocorre por meio do transporte marítimo (ONU, 2021; MOSUNOV; EVSTIGNEEV, 2021).

Outrossim, de acordo com a literatura, os custos com combustíveis contabilizam entre 50 a 70% dos custos de operação das embarcações, o que torna viável estudar novas formas de reduzir tais custos com combustíveis (SANG et al., 2023; KRETSCHMANN; BURMEISTER; JAHN, 2017).

Através destes trabalhos literários é possível observar que a bioincrustação eleva os custos com combustíveis e, por conseguinte, torna-se importante mensurar os seus impactos.

A bioincrustação pode ser definida como o acúmulo de algas, micro-organismos e/ou cracas em estruturas aquáticas móveis ou imóveis, como boias, redes, afetando as estruturas marítimas submersas. A bioincrustação ocorre em diferentes níveis ao

longo do tempo, podendo ser dividida em microincrustação e macroincrustação. A microincrustação é do acúmulo de algas e bactérias que formam uma camada de biofilme. Enquanto a macroincrustação compreende a incrustação que se desenvolve no lodo da microincrustação. E no geral, a rugosidade é muito maior em níveis mais avançados de incrustação (BRANDT et al., 2016).

A bioincrustação é um dos principais fatores da ineficiência econômica do transporte marítimo e pode reduzir em até 50% da velocidade de uma embarcação, contudo esse valor depende do nível de incrustação presente na hélice e no casco dos navios, bem como da tipologia de carga da embarcação (ANISIMOV; MIKHAILOVA; UVAROVA, 2019; SELIM et al., 2017). Outrossim, o gasto adicional com combustíveis também provoca um aumento da emissão de gases de efeito estufa. Estudos sugerem que essa ineficiência poderia ser superada com um gerenciamento correto do casco e da hélice dos navios (EDMISTON et al., 2021; MOSUNOV; EVSTIGNEEV, 2021; SCHULTZ et al., 2010).

Davis (1930) estimou que para o caso de um *destroyer* da marinha americana, que navegou a partir de localidades com clima quente para um clima frio, o clima quente é favorável ao crescimento de bioincrustantes, no entanto, parte desses microrganismos morrem ao chegar em localidades com temperatura fria. Ademais, no caso do navio *battleship* foi observado um crescimento acelerado da incrustação dado que o navio operou em distâncias curtas e com pouca frequência de viagens.

Hundley e Tsai (1992), mensurou as mudanças na potência de um *destroyer* da marinha americana em virtude da incrustação do casco e da hélice. Aos 795 dias, o casco e a hélice estavam apresentando incrustação e um aumento de 114,5% na potência para uma velocidade de 17,4 nós. Após ser feita a limpeza somente da hélice por um mergulhador, o aumento da potência adicional do eixo passou a ser de 70%, para manter a mesma velocidade. Por último, após 900 dias na doca e com o casco e a hélice devidamente limpos, a potência do eixo adicional do *destroyer* passou a ser de 8,8%. Por fim, o autor estimou um racionamento anual em combustível no valor de US\$ 985.000,00 devido a manutenção do casco.

Foi realizado um teste para mensurar se a incrustação interfere na potência para o caso de um navio *USS Brewton* e foi estimado que a limpeza do casco reduziria em torno de 6% do gasto da marinha com combustível. Tal embarcação apresentava uma camada visível de biofilme microbiano em todo o casco, bem como apresentava cracas dispersas em algumas áreas da superfície, contudo a maior parte do casco

não apresentava incrustação de cracas. Após a remoção da camada de biofilme presente no casco do navio, houve uma redução entre 8 e 18% na potência para alcançar uma determinada velocidade (HASLBECK; BOHLANDER, 1992).

Schultz (2007), mensurou que para o caso de um navio da marinha americana que apresenta incrustação pesada de calcário, é necessário aumentar a potência do eixo em 86% quando comparado a potência de um navio que opera com o casco em condições ideais para uma mesma velocidade.

Logo, a presença de bioincrustantes nas hélices e nos cascos das embarcações afetam a eficiência dos mesmos, que precisam de uma potência adicional para operar com uma mesma velocidade. Por óbvio, o consumo de combustível também será maior. Essas informações se tornam relevantes nesse contexto, uma vez que esse estudo está concentrado na eficiência econômica do transporte aquaviário marítimo de cargas que trafegam nas águas marinhas do Brasil.

2.3 Bioincrustação e emissão de gases do efeito estufa

Conforme foi visto até o momento, no que tange o transporte marítimo, a proliferação de bioincrustação diminui a eficiência das embarcações, pois aumenta o arrasto dos navios, fazendo necessário aumentar a potência para alcançar uma velocidade, e ao aumentar a potência, a queima de combustível também será maior. O que por conseguinte, levará a um aumento na emissão de gases na atmosfera, como o gás carbônico que é prejudicial a saúde humana e ao meio-ambiente. O transporte marítimo é considerado um potencial vetor de poluição na atmosfera e por conseguinte, uma ameaça a saúde humana (MUELLER; WESTERBY; NIEUWENHUIJSEN, 2023).

De acordo com *GEF-INDP-IMO GloFouling Partnerships Project* (2022), por representar substancial importância logística, o transporte marítimo contribui com cerca de 3% das emissões de gases na atmosfera. Ao estudar a relação entre bioincrustação e a emissão de gases de efeito estufa, o *GEF-INDP-IMO GloFouling Partnerships Project* (2022) registrou que a formação de cracas pode aumentar a emissão de gases em até 55%, enquanto uma camada fina de lodo cobrindo até 50% da superfície do casco pode aumentar a emissão de gases em até 25%. Contudo esses incrementos dependem das características dos navios, da velocidade e de outras condições nas quais estão operando. Nesse documento, estabeleceu-se uma meta com o propósito de reduzir 50% dessas emissões até 2050, mas para que tal

objetivo fosse alcançado uma das medidas propostas consiste em aprimorar a eficiência das embarcações.

Farkas et al. (2021), estimou que o uso de revestimentos anti-incrustantes de baixa rugosidade se mostraram eficazes/eficientes na economia de combustível e na redução da emissão de gás carbônico, mesmo para o caso de embarcações com baixa velocidade. Para o caso do navio de petróleo bruto foi encontrado uma economia de até 138 toneladas de combustível e 431 toneladas de emissão de gases de efeito estufa e para o caso dos graneleiros pode ser economizado 20,3 toneladas de combustível e 63,3 toneladas de emissões de carbono.

Sendo assim, é notável que existe um impacto ambiental advindo da presença de bioincrustantes no transporte marítimo.

2.4 Formas de controle de bioincrustantes

Os revestimentos anti-incrustantes são fundamentais para o controle da bioincrustação. Fornecedores de tintas desenvolvem ferramentas para ajudar os clientes no processo de escolha em conformidade com o tipo de navegação. Parte dos navios comerciais atuam com o gerenciamento da bioincrustação e com a limpeza dos seus cascos, pois neste caso os gastos com combustíveis são menores. Quando os revestimentos anti-incrustantes não fornecem proteção total ao longo do tempo, outros métodos são usados para prevenir e controlar a bioincrustação, como sistemas de prevenção de crescimento, tecnologias de manutenção e limpeza do casco nas águas (SWAIN et al., 2022; WILLIAMS et al., 2010). Swain et al. (2022) classificam o controle de incrustantes como limpezas, reativa ou proativa, onde a primeira ocorre quando um casco apresenta grandes quantidades de bioincrustação e é limpo com a finalidade de "voltar ao seu estado original". A limpeza proativa é a que ocorre na superfície antes que a bioincrustação possa se estabelecer.

Ademais, grande parte dos navios comerciais realiza a limpeza do casco e o uso de tinta anti-incrustante, pois o consumo de combustível é menor quando o casco está limpo. No caso de uma amostra de embarcações que pertencem ao Reino Unido foi estimado que para o caso de navios porta-container que devem ser totalmente limpos a cada 5 anos, implicaria que 20% das embarcações seriam limpas anualmente (WILLIAMS et al., 2010).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é realizado com base metodológica quantitativa, com coleta, organização e análise de dados, usando modelagem matemática, pesquisa em periódicos de elevado fator de impacto, aplicando técnicas respaldadas em valores de mercado e uso de metodologia de transferência de valores.

Segundo o GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project (2022), o método de transferência de valor é muito utilizado quando o conhecimento e os recursos são limitados, onde há deficiência e falta de dados primários necessários à pesquisa. Também, é considerado quando o tempo e os recursos para realizar pesquisas são escassos. Nessas muitas situações, esse método recorre a informações de estudos de avaliação anteriores para informar decisões sobre impactos semelhantes que estão sendo analisados e que são de interesse atual. É a transferência de informações de valor de um contexto para outro. Assim sendo, é viável utilizar valores que foram estimados em outros estudos para alcançar estimativas do estudo atual.

Esse método tem sido amplamente empregado em avaliações de ecossistemas nacionais e globais, aplicações de mapeamento de valor e avaliações de políticas (GEF; UNDP; IMO, 2022).

Em específico, nesse estudo a metodologia de transferência de valores considerará a busca de parâmetros e referências de consumos adicionais de combustíveis e de emissões de gases efeito estufa, com foco no setor de transporte marítimo, e que podem ser replicados em problemas correlatos à pesquisa em questão. Creswell (2014) e Hair et al. (2019) destacam que essa metodologia busca objetividade e precisão na investigação, aplicável a técnicas estatísticas e matemáticas.

O procedimento da pesquisa nesta dissertação foi realizado consistindo: - do desenvolvimento dos dados, com coleta e organização do banco de dados, de informações das embarcações que atracaram nos portos brasileiros, no ano de 2022, suas respectivas características e detalhamentos necessários para estimativa dos custos, inclusive considerando os coeficientes de consumo e de emissões respectivos a cada embarcação ou tipos de navios com características semelhantes (subitem 3.1); e, - da aplicação de cálculo matemático para a estimativa dos valores propostos, de custos de combustíveis e de emissão de CO₂. Esses passos são apresentados na sequência, de forma detalhada (subitem 3.2).

3.1 Desenvolvimento do banco de dados

A montagem do banco de dados foi realizada em três etapas, sendo que a primeira foi buscar o relatório com os dados brutos de todas as embarcações que atracaram nos portos brasileiros em 2022. Após, foram coletados os dados com as características físicas das embarcações, dados consultados no site da *Marine Traffic*. Na terceira etapa foram imputados os coeficientes de consumo de combustível anual e emissão de gás carbônico. Cada uma destas etapas será melhor explicada na sequência.

Na primeira etapa foi gerado um relatório personalizado no *site* da Agência Nacional de Transporte Aquaviário (ANTAQ), com todas as embarcações que atracaram nos portos da costa brasileira, no ano 2022. A ANTAQ é uma autarquia vinculada ao Ministério de Portos e Aeroportos, e que atua no setor de transporte aquaviário nacional. Entre as suas principais funções estão: regular, supervisionar e fiscalizar atividades econômicas de transporte de cargas e pessoas, bem como, o uso de portos. A organização disponibiliza as informações para a produção de conhecimento (ANTAQ, 2023).

A partir do relatório de dados brutos, foram selecionadas as embarcações, especificando-as por sua finalidade, consistindo nas que operaram em cabotagem, em movimentação de cargas, em apoio portuário e no apoio marítimo. Considerou-se trabalhar, nessa pesquisa, com embarcações que possuem identificação de registro na *International Maritime Organization* (IMO). A IMO é uma agência das Nações Unidas que tem como uma de suas principais funções a segurança e a proteção do transporte marítimo, e o gerenciamento das poluições provocadas pelas embarcações. O número de identificação IMO é um código de registro obrigatório para todos os navios que percorrem longas distâncias, e em especial nesse estudo, representa grande importância para a próxima etapa, pois através deste código é possível anexar características relevantes e necessárias a cada navio, coletados de outras fontes.

Numa segunda etapa, já com o banco de dados das embarcações e suas paradas nos portos brasileiros, todas com registros IMO, buscou-se informações individuais de cada embarcação através da consulta da placa IMO no *site Marine Traffic* ([s.d.]). A *Marine Traffic* fornece diversas informações como a movimentação dos navios em tempo real, características e o trajeto de cada navio. Essa é uma

informação de suma importância para o gerenciamento dos portos, bem como, para as indústrias interessadas em monitorar o tráfego marítimo (MARINE TRAFFIC, [s.d.]). Através da consulta no *site Marine Traffic* foram obtidos os dados de tonelagem bruta, Deadweight tonnage (dwt), tipos geral e específico e dimensões de cada embarcação. Tais informações foram compiladas com as informações dos dados brutos tornando possível completar o banco de dados na caracterização as embarcações. Essa etapa mostra-se indispensável, permitindo agrupamentos de embarcações por tipologias, pois diferentes tipos de navios consomem diferentes níveis de combustível, portanto, se diferem na emissão de poluentes.

Assim, do banco de dados inicial, coletados na primeira etapa – da fonte ANTAQ (2023) –, ao imputar respectivos registros da IMO e demais características destas embarcações - a partir da fonte Marine Traffic ([s.d.]) -, foram descartadas todas as embarcações que não tinham esse registro, gerando, assim, um conjunto de dados base para uso nesta pesquisa, com os descritores característicos das embarcações apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 - Descrição das características dos dados

Característica	Descrição
Tonelagem bruta	Volume interno seco e total de um navio
Dwt	É a capacidade de carga de um navio
Tipo	A tipologia depende do tipo de carga que o navio é capaz de transportar
Dimensões	Altura <i>versus</i> largura de cada navio

Fonte: Marine Traffic, ([s.d.])

Na sequência, também buscou-se classificar os navios por tipo de carga que transportam e pela sua capacidade de carga.

Na terceira etapa da montagem do banco de dados, foram imputados os coeficientes de gastos de combustível médio anual e emissão média de gás carbônico por mil toneladas de combustível. Os coeficientes utilizados foram sugeridos pela GEF - Global Environment Facility; UNDP – United Nations Development Programme; IMO - International Maritime Organization (2022a).

Os coeficientes em questão estão disponíveis na Tabela 4, bem como, estão disponíveis no Anexo I, e estão organizados de acordo com a tipologia da embarcação, que é definida de acordo com o tipo de carga que o navio é capacitado para transportar, e com a sua capacidade de carga, denominada como deadweight tonnage.

Ao concluir as três etapas, a construção do banco de dados foi finalizada, com uma amostra de 1.127 embarcações que atracaram nos portos da região costeira em 2022, e que possuem placa IMO, das quais realizaram operação de cabotagem, movimentação de cargas e apoio marítimo ou portuário.

Para uma definição da tipologia das embarcações, as embarcações foram caracterizadas e agrupadas, nas que realizam movimentação de cargas e suas respectivas tipologias (Tabela 2) e nas embarcações de apoio marítimo e portuário e respectivas tipologias (Tabela 3). Como já mencionado, os navios possuem características diferentes e o consumo entre eles também será desigual, tornando, portanto, a tipologia das embarcações necessária na modelagem para estimar o consumo de combustível e demais resultados.

Tabela 2 - Caracterização dos navios de movimentação de cargas

Tipologia	Descrição da carga	Total
Graneleiro	Produtos a granel	290
Porta-contentores	Carga containerizada	235
Petroleiro	Produtos líquidos a granel	228
Cargueiro	Carga geral	68
Tanque Químico	Produtos químicos a granel	51
Gaseiro	Gás liquefeito natural e gás liquefeito de petróleo	22
Transporte de Veículos	Veículos automotores	15
Ro-Ro	Transporte de veículos e contêiner	10
Transporte de Minério	Minério a granel e petróleo	2
Total		921

Fonte: Marine Traffic, ([s.d.])

Na Tabela 2 encontra-se a distribuição dos navios que realizam a movimentação de cargas. As embarcações foram divididas por tipologia de carga que é capaz de transportar. A maior parte da amostra é de navios graneleiros, porta-container e petroleiros. Na amostra foram registrados apenas dois navios específicos para o transporte de minério.

Na Tabela 3 está a descrição do tipo de embarcação de apoio marítimo e portuário, no entanto, as tipologias foram agrupadas em três, sendo elas: *offshore*, navios de serviços e rebocador/puxador. As embarcações *Pipe Layer*, Abastecimento de Plataforma *offshore*, Estimulação de Poços e Suporte de Construção, foram agrupados como navios de apoio marítimo e portuário *offshore*. As embarcações Manuseio de Âncoras, Controle de Poluição, Hidroceanográfico, Combate ao Fogo, Batelão lameiro e Draga de Sucção de arrasto foram agrupados em navios de

serviços. Enquanto as embarcações do tipo Rebocador e Puxador, foram agrupadas na tipologia Rebocadores.

Tabela 3 - Caracterização dos navios de Apoio Marítimo e Portuário

Tipologia	Descrição	Total
Abastecimento de Plataforma <i>Offshore</i>	Suporte a plataformas offshore	146
Navio <i>Pipe Layer</i>	Suporte para a produção de petróleo	17
Embarcações de Manuseio de Âncoras	Manusear e posicionar âncoras	12
Rebocador	Rebocar embarcações sem autopropulsão	9
Navio de Combate ao Fogo	Combate a incêndios	8
Navio Hidroceanográfico	Levantamentos oceanográficos e medições hidrográficas	4
Navio de Controle de Poluição	Prevenir, controlar e combater poluentes	3
Estimulação de Poços	Aprimorar a produtividade de petróleo ou gás.	2
Navio de Suporte de Construção	Auxiliar na execução de projetos de plataformas offshore	2
Draga de Sucção de Arrasto	Dragagem, transporte e descarga	2
Plataforma de Acomodação	Atender as demandas da tripulação	1
Total		206

Fonte: Marine Traffic, ([s.d.])

Os navios de transporte de carga estão caracterizados na Tabela 2 e as embarcações de apoio marítimo e portuário encontram-se caracterizadas de acordo com a sua tipologia na Tabela 3, assim como as respectivas quantidades de cada tipo de embarcação presente no banco de dados.

Em conformidade com os dados das Tabelas 2 e 3, tem-se que a maior parte da frota de embarcações que atracou nos portos da costa brasileira em 2022 concentram-se no transporte de cargas, sobretudo dos tipos graneleiro, porta-container e petroleiro conforme mencionado. No que tange o transporte de apoio marítimo e portuário, das 206 embarcações o total de 171 concentram-se no abastecimento de plataforma *offshore*.

No presente capítulo foram apresentadas as etapas de construção da base de dados utilizada para calcular os efeitos de bioincrustantes no consumo de combustível. Na sequência, será exposta a forma matemática utilizada para quantificar tais gastos adicionais.

3.2 Cálculo do impacto da bioincrustação no consumo de combustíveis e emissão de CO2

Após a construção do banco de dados será estimado, primeiramente, o consumo de combustíveis e da emissão de CO2 para cada navio, gerando um primeiro resultado, onde mostra que, com base nos coeficientes utilizados no banco de dados utilizado teríamos um consumo X de combustível bunker e uma projeção de emissão de CO2 de Y.

O primeiro resultado calculado para o consumo de combustível, de acordo com a tipologia da embarcação e tamanho, refere-se ao valor médio de consumo em mil toneladas de combustível se a embarcação estivesse operando com o casco limpo e em condições ideais. A partir desses resultados, são medidos os valores acrescidos do evento de bioincrustação em dois cenários: - em um primeiro cenário é medido o valor aumentado no consumo de combustível em razão da presença de bioincrustação em um cenário mais leve ao qual chamamos de simulação *Soft* (microincrustação); e, - no segundo cenário será medido o valor acrescido no consumo de combustível considerando um nível maior de bioincrustação, chamado de *Hard* (macroincrustação). No cenário *soft* será acrescido 20% a mais em relação ao valor médio que a embarcação estaria consumindo por bunker, expresso em dólar, e no cenário *soft* o valor aumentado por bunker será de 55% em relação ao consumo médio, em dólar por bunker, que o mesmo navio estaria consumindo operando com um bom gerenciamento da bioincrustação.

Primeiramente, para calcular o consumo anual de combustível de cada navio da amostra, foi utilizado um cálculo de multiplicação. Os coeficientes utilizados para calcular o consumo médio anual de cada embarcação foram sugeridos pela GEF, UNDP e IMO (2022b).

A seguir na Tabela 4, estão apresentados os índices de consumo que foram imputados no banco de dados para estimar os resultados almejados que tem por objetivo mensurar e avaliar os custos advindos da presença de bioincrustantes no setor marítimo aquaviário.

Tabela 4 - Consumo de combustível e emissão de gases em mil toneladas

Tipo de Navio	Tamanho	Unidade de tamanho	Consumo médio de combustível	Emissão Média de CO2
Graneleiro	0-59.999	dwt	3.26	12.97
Graneleiro	60.000-99.999	dwt	5.4	21.09
Graneleiro	100.000 +	dwt	8.97	32.68
Tanque Químico	0-9.999	dwt	1.19	7.22
Tanque Químico	10.000 +	dwt	4.17	17.48
Tanque de Gás	0-49.999	cbm	2.4	12.21
Tanque de Gás	50.000-199.999	cbm	17.9	65.95
Tanque de Gás	200.000 +	cbm	35.5	125.72
Petroleiro	0-19,999	dwt	0.80	9.68
Petroleiro	20,000-199,999	dwt	5.70	28.00
Petroleiro	200,000 +	dwt	15.30	62.90
Porta-contentor	0-2,999	TEU	5.05	23.41
Porta-contentor	3,000-7,999	TEU	16.00	65.56
Porta-contentor	8,000 +	TEU	24.26	92.17
Cargueiro	Todos	dwt	1.28	7.23
Veículos	Todos	Veículo	7.79	31.57
Ro-Ro	0-4,999	dwt	1.10	31.09
Ro-Ro	5,000 +	dwt	6.80	33.95
Offshore	Todos	gt	0.70	5.39
Navio de Servios	Todos	gt	0.71	4.26
Rebocador	Todos	gt	0.40	4.22

Fonte: GEF, UNDP e IMO (2022a)

Por meio do método de transferência de valor de mercado, o preço será utilizado o preço dos combustíveis *Very Low Sulphur Fuel Oil* (VLSFO) e *Marine Gas Oil* (MGO), ambos respeitam o teor de enxofre que é permitido queimar no processo de transporte marítimo. No entanto, o MGO tem um custo mais elevado, pois seu teor de enxofre é muito mais baixo (TAN et al., 2022). A coleta dos dados referentes aos preços do bunker de VLSFO e MGO foram retiradas do site *Ship & Bunker* (2024), tal qual dispõe de informações e dados sobre combustíveis no setor marítimo e outras informações de interesse sobre o setor. O valor médio de ambos os combustíveis foi coletado no dia 17 de fevereiro de 2024, e refere-se ao período de agosto de 2023 a fevereiro de 2024. Além disso, foi utilizado o preço de mercado do Porto de Santos, localizado em Santos/SP. Quanto aos valores, o valor médio do MGO no Porto de Santos era de US\$ 1.011,50 e o preço médio do VLSFO era de US\$ 652,00. Como a unidade de medida dos coeficientes estão em mil toneladas e dado que os valores dos combustíveis são dados por tonelada de combustível, os valores médios do MGO de US\$ 1.011,50 e do VLSFO US\$ 652,00 foram multiplicados por mil. Assim sendo, os preços do MGO e do VLSFO foram respectivamente de US\$ 1.011.500,00 e US\$ 652.000,00. Ademais, os coeficientes disponíveis na Tabela 4 foram utilizados nas Equações 1, 2 e 5.

Assim sendo, as variáveis que compõe a primeira função se apresentam como Y , que corresponde ao valor do consumo de VLSFO em cada embarcação da amostra, C_y é o consumo médio anual em mil toneladas, de acordo com cada tipologia e tamanho de navio, conforme a Tabela 4. E P corresponde ao preço atual do *bunker* de combustível. Quanto à segunda função, W refere-se ao valor do consumo de MGO de cada embarcação, C_y assume os mesmos valores da primeira função. E, por fim, P_{MGO} é o preço do *bunker* de MGO.

Equação 1

$$Y = C_y \cdot P_{VLSFO}$$

Equação 2

$$W = C_y \cdot P_{MGO}$$

3.2.1 Simulação da penalidade devido a bioincrustação

Uma vez calculado o consumo anual de óleo, a próxima etapa consiste em simular o consumo adicional de combustível advindo da presença de bioincrustação e o impacto adicional nas emissões de CO₂.

Foram utilizadas duas penalidades, aqui consideradas como *soft* e *hard*, para a presença de bioincrustação nos cascos e hélices dos navios. Primeiramente foi calculado um acréscimo de 20% (*soft*) sobre o valor médio de consumo de combustível, e em um segundo cenário (*hard*), a penalidade foi de 55% de acréscimo sobre o valor calculado. Estes cenários desenvolvidos seguem os estudos da GEF, UNDP e IMO (2022a) e GEF, UNDP e IMO (2022b).

Assim sendo, o valor aumentado no consumo de combustível foi obtido através da multiplicação do consumo médio anual de combustível em mil toneladas pela penalidade aplicada, nos dois cenários de penalidades.

Equação 3

$$\beta_{VLSFO} = Y_n \cdot R$$

Equação 4

$$\beta_{MGO} = W_n \cdot R$$

Nas equações 3 e 4, o β corresponde ao valor adicional de consumo de combustível dado a presença de bioincrustação para os combustíveis VLSFO e MGO, Y_n é o consumo médio de VLSFO em mil toneladas que foi calculado através da Equação 1 e W_n refere-se ao consumo médio de MGO calculado em mil toneladas na Equação 2. Os valores assumidos por Y são os resultados estimados na Equação 1 e fazem referência ao consumo médio anual de combustível em mil toneladas, os valores foram calculados em dólar. Os valores de W são os mesmos que foram calculados na Equação 2 e refere-se ao consumo médio anual do combustível MGO em um cenário ideal com um bom gerenciamento da bioincrustação. Os valores são expressos em dólares, para cada tipologia de embarcação. Enquanto o R refere-se à penalidade em virtude da ausência da política de gerenciamento de bioincrustantes e pode assumir dois valores. Logo, R é a penalidade aplicada quando há presença de bioincrustação, e nas Equações 3 e 4 o valor será medido para os níveis de 20% em um cenário *soft* e de 55% em um cenário *hard*, respectivamente. Após multiplicar os resultados das Equações 1 e 2 pelo valor aumentado expresso em percentual, o resultado estimado nas Equações 3 e 4 será o valor aumentado médio em dólar por bunker, para cada tipologia e tamanho de navio.

Uma vez calculado o custo adicional de consumo de combustível devido a presença de bioincrustantes, é possível quantificar o valor adicional da emissão de gases de efeito estufa através das Equações 5 e 6. O preço da emissão de gás carbônico foi retirado do *Dashboard* Precificação de Carbono, da Fundação Getúlio Vargas (FGV, [s.d.]). Foi retirado o preço médio das emissões no dia 29 de fevereiro de 2024. O preço médio de crédito de carbono referente a uma tonelada de gás carbônico é \$32,37, e para alcançar os resultados desejados, esse valor foi multiplicado por mil, pois a equação utilizada faz referência a mil toneladas.

A seguir estão dispostas as equações referentes ao consumo anual estimado para a emissão de gases de efeito estufa. No qual Z corresponde ao valor da emissão de gases devido a presença de bioincrustação no navio tanto para o caso do combustível VLSFO (Equação 5) quanto para o MGO, G_z é o índice de consumo de carbono, em mil toneladas, e o C corresponde ao preço da emissão de carbono, em mil toneladas.

Equação 5

$$Z = G_z . C$$

A partir da Equação 6, é possível calcular o valor do custo aumento na emissão de gás carbônico devido a presença de bioincrustantes sob as penalidades de 20% e 55%. Em que α é o valor do custo auferido a presença de bioincrustação, Z é o valor da emissão de CO₂ e R corresponde a penalidade, que assume primeiramente o cenário soft de bioincrustação, de 20%, e depois de 55% em um nível *hard* de bioincrustantes.

Equação 6

$$\alpha = Z . R$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados os resultados das estimativas calculadas para a frota de 2022. Primeiramente será discutido o impacto de bioincrustantes no consumo dos combustíveis VLSFO e MGO em navios que fazem a movimentação de cargas de acordo com a sua tipologia. Depois será visto os mesmos resultados para embarcações de apoio marítimo e portuário. Após a discussão dos resultados apresentados nas tabelas, será analisado o impacto na emissão de gases de efeito estufa para cada tipo de embarcação de transporte de cargas e apoio marítimo e portuário distintamente. Todos os resultados encontram-se em dólar americano, em valores atuais de 2023.

Os resultados calculados nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 são uma média ponderada de cada tipo de embarcação, pois a grande maioria dos navios de movimentação de carga tem tamanho e capacidade de carga distintas. Logo, o consumo também é diferente por capacidade de carga e não apenas por tipo de carga que é capaz de transportar. Isso implica que os resultados advêm do produto dos consumos de combustível e de crédito de carbono pelas quantidades totais de cada tipologia de navio.

Tabela 5 - Consumo de combustível VLSFO para navios de carga, em dólar americano, a preços de 2023 por mil toneladas de combustível

Tipologia	Consumo de combustível	Valor adicional incrustantes	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
Graneleiro	2.558.605,38	511.721,08	1.407.232,96
Porta-contentores	11.432.722,89	2.286.544,58	6.287.997,59
Petroleiro	3.936.021,05	787.204,21	2.164.811,58
Cargueiro	834.560,00	166.912,00	459.008,00
Tanque Químico	2.604.548,24	520.909,65	1.432.501,53
Gaseiro	2.024.163,64	404.832,73	1.113.290,00
Transportador de Veículos	5.079.080,00	1.015.186,00	2.793.494,00
Transportador de Animais	834.560,00	166.912,00	459.008,00
Ro-Ro	4.433.600,00	886.720,00	2.438.480,00
Transportador de Minério	3.586.800,00	704.160,00	1.936.440,00

Fonte: própria autora (2024)

Os navios que transportam carga containerizada são representados por uma amostra de 235 embarcações e possuem um consumo mais elevado de combustível quando comparado com os demais. O consumo de combustível MGO em Porta-contentores foi estimado em US\$ 17.736.501,50 e de VLSFO foi estimado um

consumo de US\$11.432.722,89. No caso da presença de bioincrustantes em um nível *hard*, o custo seria de US\$ 9.755,076,59 se utilizado o combustível MGO, e US\$6.287.997,59 para o VLSFO, seguidos por Transportador de Veículos e Ro-Ro, que representam 15 e 10 unidades na amostra, respectivamente. Isso implica que, diante de um cenário que ocorra o gerenciamento de bioincrustação, o consumo de combustível MGO diminuiria em até US\$4.333.771,75 para os navios que transportam veículos, e em até US\$3.783.010,00 para as embarcações Ro-Ro.

Tabela 6 - Consumo de combustível MGO para navios de carga em dólar

Tipologia	Consumo de combustível	Valor adicional incrustantes	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
Graneleiro	3.969.370,16	793.874,03	2.183.153,59
Porta-contentores	17.736.501,85	3.547.300,37	9.755.076,02
Petroleiro	6.106.265,79	1.221.253,16	3.358.446,18
Cargueiro	1.294.720,00	258.944,00	712.096,00
Tanque Químico	4.040.645,00	808.129,00	2.222.354,75
Gaseiro	3.140.247,73	628.049,55	1.727.136,25
Transportador de Veículos	7.879.585,00	1.575.917,00	4.333.771,75
Transportador de Animais	1.294.720,00	258.944,00	712.096,00
Ro-Ro	6.878.200,00	1.375.640,00	3.783.010,00
Transportador de Minério	5.462.100,00	1.092.420,00	3.004.155,00

Fonte: própria autora (2024)

O Graneleiro compõe a maior parte da amostra, com 290 unidades. No entanto, a média ponderada do quanto o consumo seria reduzido para a frota de 2022 foi de até US\$2.183.153,59 para um nível *hard* de incrustação. Os Navios Petroleiros têm um consumo estimado de US\$6.106.265,79, e com um bom gerenciamento pode reduzir esse montante em até US\$3.358.446,18, diante do cenário de um nível de 55%.

De modo geral, a média ponderada da amostra de navios de carga apresenta um consumo médio em mil toneladas do combustível MGO no valor de US\$57.802.355,53 e um consumo aumentado de US\$11.560.471,11 para um nível *soft* e de US\$31.791.295,54 para um nível *hard* de bioincrustação. Para o combustível VLSFO a média foi de US\$37.324.661,20 e um consumo aumentado de até US\$20.492.263,66 para um nível *hard* de bioincrustantes.

O consumo aumentado implica em um gerenciamento não executado para mitigar gastos advindos da presença de bioincrustantes, sendo que existem alternativas para executar um bom gerenciamento destes micro-organismos presentes nos cascos e nas hélices dos navios. O transporte marítimo apresenta substancial importância para a globalização, e no transporte de cargas esses custos

são repassados e tornam os fretes mais caros para quem o contrata. E estes preços elevados geram inflação, tornando mais caro importar e exportar, outrossim gera uma perda no poder de compra do consumidor que será impactado com a elevação dos custos. Tais fatores afetam a economia como um todo, pois afeta também a competitividade, dado que o país importa em grandes volumes. É importante mitigar gastos para tornar o país mais competitivo.

Os consumos estimados de combustível para a frota de navios de Apoio Marítimo e Portuário, no ano de 2022, estão apresentados nas Tabelas 7 e 8 para os combustíveis VLSFO e MGO respectivamente.

Tabela 7 - Consumo de VLSFO no Apoio marítimo e Portuário em dólar

Tipologia	Consumo de combustível	Valor adicional incrustantes	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
<i>Offshore</i>	456.400,00	91.280,00	251.020,00
Navio de serviços	456.400,00	91.280,00	251.020,00
Rebocador/empurrador	260.800,00	52.160,00	143.440,00

Fonte: própria autora (2024)

As embarcações de apoio a plataformas *offshore* e os navios de serviços registraram consumo semelhante de combustível em 2022. Enquanto as embarcações do tipo Rebocador da frota de 2022 tiveram um consumo relativamente mais baixo. No caso da presença a mais de bioincrustantes em um nível de 55%, as embarcações de Serviços e as *Offshore* teriam um consumo aumentado de VLSFO no montante de US\$251.020,00. E os Rebocadores poderiam reduzir o consumo de combustível VLSFO em US\$52.160,00 sem a presença de bioincrustantes, quando considerado um nível de 20% de bioincrustação.

Tabela 8 - Consumo de MGO em navios de apoio marítimo e portuário em dólar

Tipologia	Consumo de combustível	Valor adicional incrustantes	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
<i>Offshore</i>	708.050,00	141.610,00	389.427,50
Navio de serviços	708.050,00	141.610,00	389.427,50
Rebocador/empurrador	404.600,00	80.920,00	222.530,00

Fonte: própria autora (2024)

O consumo de MGO em uma situação onde as embarcações *Offshore* e Navios de Serviços tenham bioincrustantes no nível *hard*, aumentaria os custos em US\$ 389.427,50 para a frota que navegou na costa brasileira em 2022. Enquanto os navios do tipo Rebocador poderiam reduzir o consumo em até US\$222.530,00.

Em um contexto amplo, para o consumo médio de combustível VLSFO para a frota de 2022 foi de US\$1.173.600,00 e o acréscimo devido a presença de bioincrustantes pode chegar até a ordem de US\$645.480,00. E para o combustível MGO, a média ponderada do consumo de combustível estimado foi da ordem de US\$1.820.700,00 com um aumento de US\$364.140,00 para um nível *soft* de bioincrustantes de US\$1.001.385,00 para o nível *hard*.

Após a discussão dos resultados referentes ao impacto de bioincrustação no consumo de combustível, será discutido os resultados da emissão de gases de efeito estufa em termos monetários para as mesmas embarcações. Primeiramente será apresentado o consumo da emissão para os navios que movimentaram cargas em 2022, posteriormente será apresentado os resultados da média ponderada da emissão de gases para a frota de apoio marítimo e portuário de 2022 e a discussão destes resultados.

Tabela 9 - Emissão de CO2 para navios de carga em dólar americano

Tipologia	Emissão de CO2	Emissão adicional de CO2	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
Graneleiro	499.459,05	99.891,81	274.702,48
Porta-contentores	2.242.873,22	448.574,64	1.233.580,27
Petroleiro	945.999,05	189.199,81	520.299,48
Cargueiro	234.035,10	46.807,02	128.719,31
Tanque Químico	546.291,35	109.258,27	300.460,24
Gaseiro	474.308,78	94.861,76	260.869,83
Transportador de veículos	1.021.920,90	204.384,18	562.056,50
Ro-Ro	1.076.302,50	215.260,50	591.966,38
Transportador de Minério	682.683,30	136.536,66	375.475,82

Fonte: própria autora (2024)

Com base nos dados apresentados na Tabela 9, as embarcações “Porta-contentores” tem a capacidade de aumentar a emissão de gases do efeito estufa no montante de US\$1.233.580,27. Compactuando com o consumo de combustíveis, as embarcações do tipo “Ro-Ro” e “Transportador de Veículos” são os segundos tipos com maior capacidade de crescer os custos com emissão de CO2. Seguido dos “Navios Petroleiros” que, com um bom gerenciamento de bioincrustação em um nível mais avançado, poderia reduzir o consumo em torno de US\$520.299,48. Os navios cargueiros da frota de 2022 se mostraram com menor potencial de aumentar o consumo de gases e podem reduzir o consumo em até US\$128.719,31 com um controle adequado de bioincrustantes.

Em termos monetários e de modo mais amplo, a média da emissão de CO₂ da frota de transportes de cargas no Brasil em 2022 foi estimada em US\$7.723.873,25.

O consumo aumentado para um nível *soft* de bioincrustação para o caso de não haver uma política de controle devido a presença de bioincrustantes foi de US\$1.544.774,65 para o nível *soft* e de US\$4.248.130,31 para um nível *hard*. O que implica que esses custos afetam as receitas e devem ser mitigados, dado que além de promover impacto nos custos, gerando um aumento na inflação e promover a perda de competitividade, o aumento na emissão de gases também impacta o meio-ambiente com mudanças climáticas, e outros problemas que advém desta temática.

O resultado de emissão de gases do efeito estufa para os navios de “Apoio Marítimo e Portuário” da frota de 2022 estão na Tabela 10, a seguir.

Tabela 10 - Emissão de CO₂ para Navios de Apoio Marítimo e Portuário em dólar americano, a preços de 2023

Tipologia	Emissão de CO ₂	Emissão adicional de CO ₂	
		Nível <i>soft</i>	Nível <i>hard</i>
<i>Offshore</i>	174.474,30	34.894,86	95.960,87
Navio de Serviços	137.896,20	27.579,24	75.842,91
Rebocador/Empurrador	136.601,40	27.320,28	75.130,77

Fonte: própria autora (2024)

Diferentemente do consumo de combustível, a emissão de gás carbônico das embarcações de Apoio Marítimo e Portuário dos tipos “*Offshore*” e “Navios de Serviço” da frota de 2022 não é semelhante. Nesse contexto, as embarcações que trabalham no apoio a Plataformas *Offshore* tem uma emissão maior, pois caso não haja controle de bioincrustantes, os custos podem ser aumentados em até US\$95.960,87, de acordo com as estimativas obtidas. Nesse contexto de poluentes, os Navios de Serviços e os Rebocadores alcançaram um aumento médio semelhante de acordo com os resultados alcançados para a frota de 2022. Em um nível *soft* de incrustantes as embarcações poderiam reduzir o consumo com um bom gerenciamento em US\$27.579,24 para as embarcações de serviços e US\$27.320,28 para os Rebocadores.

Em geral, os custos da emissão média de CO₂ para o setor de apoio marítimo de portuário de cargas foi da ordem de US\$448.971,90 podendo esses custos serem acrescidos de até US\$246.934,55 para o caso de um nível *hard* de bioincrustantes.

Em conformidade com os resultados obtidos, as embarcações responsáveis pelo transporte de cargas compõem a grande maioria da frota de 2022 que trafegou na costa brasileira. Outrossim, são mais poluentes e possuem um consumo maior de combustível com relação as embarcações de Apoio Marítimo e Portuário.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho tem por objetivo mensurar e avaliar os custos aumentados da frota de navios que atracaram na costa brasileira em 2022 devido a presença de bioincrustação nos níveis de 20% e de 55%. É notório que os valores de consumo aumentado de combustível e da emissão de gases de efeito estufa são significativamente altos. O valor adicional médio do combustível tipo MGO para a amostra de embarcações no transporte de cargas, as quais compõe a parte majoritária da amostra foi de até US\$31.791.295,54 para o caso de bioincrustação avançada, e de até US\$20.492.263,66 para o combustível VLSFO. No que tange o setor de Apoio Marítimo e Portuário o valor foi de até US\$1.001.385,00 para combustível MGO e bioincrustação em um nível hard. E de até US\$645.480,00 para o combustível VLSFO.

A emissão adicional de CO₂, os valores médios mais altos são de US\$ 1.233.580,27 para os Porta-contentores e de US\$591.966,38 para os navios do tipo Ro-Ro. De modo geral o custo médio da emissão de CO₂ para o setor de transporte de cargas da frota brasileira de 2022 foi da ordem de US\$7.723.873,25, e o valor aumentado no caso de bioincrustação em um nível hard é da ordem de US\$4.248.130,31.

Os valores estimados fazem referência ao valor médio de consumo aumentado de combustível e poderiam ser mitigados se as embarcações estivessem operando em condições ideais sem a proliferação de bioincrustantes. Outrossim, um bom gerenciamento do casco e das hélices das embarcações se mostra como uma boa medida de controle de bioincrustantes para uma redução de custos e também de poluentes.

Os resultados deste trabalho sugerem que ter uma frota limpa é capaz de mitigar custos. Por outro lado, a presença de bioincrustantes gera uma perda de bem-estar mundial pois o aumento no consumo de combustível gera um encarecimento do transporte marítimo, por conseguinte um efeito inflacionário, além de gerar problemas de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ANISIMOV, A. V.; MIKHAILOVA, M. A.; UVAROVA, E. A. Modern approaches for the development of marine antifouling coatings. **Voprosy Materialovedeniya**, v. 2, n. 94, jan. 2019.
- ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários. Relatórios personalizados – Movimentação. **ANTAQ**, Brasília, DF, [s.d.], 2023. Disponível em: <<https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/Relatorio.html#pt>>. Acesso em: 06 abr. 2023.
- ARTHUR, J. R.; SUBASINGHE, R. P. Potential adverse socio-economic and biological impacts of aquatic animal pathogens due to hatchery-based enhancement of inland open-water systems, and possibilities for their minimisation. In: ARTHUR, J. R.; PHILLIPS, M. J.; SUBASINGHE, R. P.; REANTASO, M. B.; MACRAE, I.H. (Eds.). **Primary aquatic animal health care in rural, small-scale, aquaculture development**. FAO Fish. Tech. , nº. 406. Roma: Food and Agriculture Organization, 1999. Cap. 12, p. 113-126.
- BRANDT, M. J.; JOHNSON, K. M.; ELPHINSTON, A. J.; RATNAYAKA, D. D. **Twort's Water Supply**. 7th ed. [s.l.]: Butterworth-Heinemann, 2016.
- CRESWELL, J. W. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 3rd ed. Thousand Oaks, US: Sage Publications, 2014.
- DAVIS, H. F. D. The increase in S.H.P. and R.P.M. due to fouling. **Journal of the American Society of Naval Engineers**, v. 42, n. 1, p. 155–166, fev. 1930.
- EDMISTON, C. A.; COCHLAN, W. P.; IKEDA, C. E.; CHANG, A. L. Impacts of a temperate to tropical voyage on the microalgal hull fouling community of an atypically-operated vessel. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112112, abr. 2021.
- FARKAS, A.; DEGIULI, N.; MARTIĆ, I.; VUJANOVIĆ, M. Greenhouse gas emissions reduction potential by using antifouling coatings in a maritime transport industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 295, p. 126428, mai. 2021.
- FERREIRA, C. E. L.; GONÇALVES, J. E. A.; COUTINHO, R. Ship hulls and oil platforms as potential vectors to marine species introduction. **Journal of Coastal Research**, n.39, p. 1340-1345, dez. 2006.
- FGV – Fundação Getúlio Vargas. *Dashboard* Precificação de Carbono. Observatório da Bioeconomia. **FGV**, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibWVjZjMjOTAtYTVjMi00OTc1LWJhZTETyWQxY2M0YzdjMGM0IiwidCI6ImRlNGNIMThjLTUyMTQtNDA2OS04MTg4LTFiOGZiNDJIM2NjZSJ9&pageName=ReportSection8563bbab36110c9ec008>. Acesso em: 03 jul. 2024.
- GEF - Global Environment Facility; UNDP – United Nations Development Programme; IMO - International Maritime Organization. GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project. **Guide to developing national rapid economic assessments of biofouling management to minimize the introduction of invasive aquatic species**. Guide 2. London, UK: GloFouling Partnerships, 2022a.

GEF - Global Environment Facility; UNDP – United Nations Development Programme; IMO - International Maritime Organization. GEF-UNDP-IMO GloFouling Partnerships Project. **Guide to Developing national status assessments of biofouling management to minimize the introduction of invasive aquatic species**. Guide 1. London, UK: GloFouling Partnerships, 2022b.

GITTENBERGER, A.; RENSING, M.; DEKKER, D.; FREIJSER, J. **Risk analysis of hull fouling on small to medium sized boats as an import vector of exotic species in the Wadden Sea**. GiMaRIS report 2011. Leiden, NL: GiMaRIS, 2011.

GOLLASCH, S. The importance of ship hull fouling as a vector of species introductions into the North Sea. **Biofouling**, v. 18, n. 2, p. 105-121, jan. 2002.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E. **Multivariate data analysis**. 8th ed. India: Cengage, 2019.

HASLBECK, E. G.; BOHLANDER, G. S. Microbial biofilm effects on drag-lab and field. In: The Ship Production Symposium. **Proceedings...** The Ship Production Symposium, New Orleans, Louisiana, 1992. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADP023028.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2024.

HUNDLEY, L. L.; TSAI, S.-J. The use of propulsion shaft torque and speed measurements to improve the life cycle performance of U.S. Naval Ships. **Naval Engineers Journal**, v. 104, n. 6, p. 43–57, nov. 1992.

KATSANEVAKIS, S.; ZENETOS, A.; CARDOSO, A.; SUMARES, C. N. A. Gateways to alien invasions in the European Seas. **Aquatic Invasions**, v. 9, n. 2, p. 133-144, 2014.

KRETSCHMANN, L.; BURMEISTER, H.-C.; JAHN, C. Analyzing the economic benefit of unmanned autonomous ships: an exploratory cost-comparison between an autonomous and a conventional bulk carrier. **Research in Transportation Business & Management**, v. 25, p. 76-78, dez. 2017

MARINE TRAFFIC. Monitot the seas with Marine Traffic. **kpler.com**, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.marinetraffic.com>. Acesso em 03 de jul. de 2024.

MEPC - MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE. **2023 Guidelines for the control and management of ships' biofouling**. [s.l.]: Resolution MEPC, n.378 v.80, annex. 1, p.1-63, 2023.

MITCHELL, R.; BENSON, P. H. **Micro- and macrofouling in the OTEC program: an overview**. Washington: Department of Energy, 1980.

MOSUNOV, A.; EVSTIGNEEV, V. Biofouling as one of the Factors of Sustainable Development of Shipbuilding. In: Ecological Paradigms of Sustainable Development: Political, Economic and Technological Dimension of Biosphere Problems” (EPSD 2021). **Proceedings...** E3S Web of Conferences, v. 311, p. 04003, 2021. Disponível em: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/87/e3sconf_epsd2021_04003.pdf. Acesso em: 28 jun. 2024.

MUELLER, N.; WESTERBY, M.; NIEUWENHUIJSEN, M. Health impact assessments of shipping and port-sourced air pollution on a global scale: A scoping literature review. **Environmental Research**, v. 216, p. 114460, jan. 2023.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Review of maritime transport 2008**. Report by the UNCTAD secretariat. New York; Geneva: ONU, 2008.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Review of maritime transport 2021**. Geneva: ONU, 2021.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Review of maritime transport 2023**. Geneva: ONU, 2023.

SANG, Y.; DING, Y.; XU, J.; SUI, C. Ship voyage optimization based on fuel consumption under various operational conditions. **Fuel**, v. 352, p. 129086, nov. 2023.

SCHULTZ, M. P. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. **Biofouling**, v. 23, n. 5, p. 331-341, out. 2007.

SCHULTZ, M. P.; BENDICK, J. A.; HOLM, E. R.; HERTEL, W. M. Economic impact of biofouling on a naval surface ship. **Biofouling**, v. 27, n. 1, p. 87-98, dez. 2010.

SELIM, M. S.; SHENASHEN, M. A.; EL-SAFETY, S. A.; HIGAZY, S.A.; SELIM, M.M.; ISAGO, H.; ELMARAKBI, A. Recent progress in marine foul-release polymeric nanocomposite coatings. **Progress in Materials Science**, v. 87, p. 1-32, jun. 2017.

SHIP & BUNKER. Ship and Bunker Prices. **Ship & Bunker**, [s.l.], 2024. Disponível em: <https://shipandbunker.com/prices/am/samatl/br-ssz-santos#VLSFO>. Acesso em: 28 jun. 2024.

SWAIN, G.; ERDOGAN, C.; FOY, L.; GARDNER, H.; HARPER, M.; HEARIN, J.; HUNSUCKER, K. Z.; HUNSUCKER, J. T.; LIEBERMAN, K.; NANNY, M.; RALSTON, E.; STEPHENS, A.; TRIBOU, M.; WALKER, B.; WASSICK, A. Proactive In-Water Ship Hull Grooming as a Method to Reduce the Environmental Footprint of Ships. **Frontiers in Marine Science**, v. 8, fev. 2022.

TAN, Z.; ZHANG, M.; SHAO, S.; LIANG, J.; SHENG, D. Evasion strategy for a coastal cargo ship with unpunctual arrival penalty under sulfur emission regulation. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 164, p. 102818, ago. 2022.

WILLIAMS, F.; ESCHEN, R.; HARRIS, A.; DJEDDOUR, D.; PRATT, C.; SHAW, R. S.; VARIA, S.; LAMONTAGNE-GODWIN, J.; THOMAS, S. E.; MURPHY, S. T. **The Economic Cost of Invasive Non-Native Species on Great Britain**. London, UK: CABI - Centre for Agricultural Bioscience International, 2010.

ANEXO

Anexo I - Tabelas de coeficientes

Figura 1 – Consumo combustível do navio e emissões de GEE

Tipo de navio	Tamanho do navio	Unidades de tamanho	Consumo médio ('000 toneladas)	CO2 médio emissões ('000 toneladas)	CO2 médio emissões por tonelada de combus
Graneleiros	0-59.999	dwt	3,26	12,97	3.979
	60.000-99.999	dwt	5,40	21,09	3.906
	100.000 +	dwt	8,97	32,68	3.643
Navios químicos	0-9.999	dwt	1.19	7,22	6.067
	10.000 +	dwt	4.17	17,48	4.192
Navio de gás liquefeito	0-49.999	cbm	2,40	21/12	5.088
	50.000-199.999	cbm	17,90	65,95	3.684
	200.000 +	cbm	35,50	125,72	3.541
Tanques de óleo	0-19.999	dwt	0,80	9,68	12.100
	20.000-199.999	dwt	5,70	28h00	4.912
	200.000 +	dwt	15h30	62,90	4.111
Recipiente	0-2.999	TEU	5,05	23.41	4.636
	3.000-7.999	TEU	16h00	65,56	4.098
	8.000 +	TEU	24.26	92.17	3.799
Carga geral	Todos os tamanhos de embarcações	dwt	1,28	7,23	5.648
Veículo	Todos os tamanhos de embarcações	Veículo	7,79	31,57	4.053
Ro-Ro	0-4.999	dwt	1.10	31.09	28.264
	5.000 +	dwt	6,80	33,95	4.993

continua..

continuação..

Tipo de navio	Tamanho do navio	Unidades de tamanho	Consumo médio (‘000 toneladas)	CO2 médio emissões (‘000 toneladas)	CO2 médio emissões por tonelada de combust
Balsa (ro-pax)	0-1.999	gt	0,60	5,89	9.817
	2.000 +	gt	6,00	25,58	4.263
Balsa (apenas para passageiros)	0-1.999	gt	0,80	9,58	11.975
	2.000 +	gt	3,90	20,65	5.295
Cruseiros	0-9.999	gt	0,71	13,16	18.535
	10.000 +	gt	24,62	136,27	5.535
lates	Todos os tamanhos de embarcações	gt	0,40	3.14	7.850
pescaria	Todos os tamanhos de embarcações	gt	0,40	11h30	28.250
Rebocadores de serviço	Todos os tamanhos de embarcações	gt	0,40	4.22	10.550
No mar	Todos os tamanhos de embarcações	gt	0,70	5,39	7.700
Navios de serviço	Todos os tamanhos de embarcações	gt	0,70	4,26	6.086

Fonte: GEF, UNDP e IMO (2022a, p.105-106)