

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (CO₂): SUPORTE A DECISÃO
E GESTÃO DE EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS DE APOIO OFFSHORE

SAULO MARELLI MATOS

MACAÉ-RJ

2024

SAULO MARELLI MATOS

ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (CO₂): SUPORTE A DECISÃO
E GESTÃO DE EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS DE APOIO OFFSHORE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Gestão Ambiental das Cidades, Gerenciamento de Resíduos e Efluentes, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador(a): D.Sc. Luiz de Pinedo Quinto Junior

Orientador(a): D.Sc. Luis Felipe Umbelino dos Santos

MACAÉ-RJ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M433e Matos, Saulo Marelli, 1983-.
 Estimativa de emissão de gases do efeito estufa (CO₂): suporte a decisão e gestão de embarcações marítimas de apoio offshore / Saulo Marelli Matos — Macaé, RJ, 2024.
 xiii, 36 f.: il. color.

 Orientador: Luiz de Pinedo Quinto Junior, 1962-.
 Coorientador: Luis Felipe Umbelino dos Santos, 1975-.
 Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2024.
 Inclui referências.
 Área de concentração: Gestão Ambiental das Cidades, Gerenciamento de Resíduos e Efluentes.
 Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

 1. Aquecimento global. 2. Crimes contra o meio ambiente - Brasil. 3. Poluição - aspectos ambientais . 4. Efeito estufa 5. Transporte marítimo I. Quinto Junior, Luiz de Pinedo, 1962-, orient. II. Santos, Luis Felipe Umbelino, 1975-, coorient. III. Título.

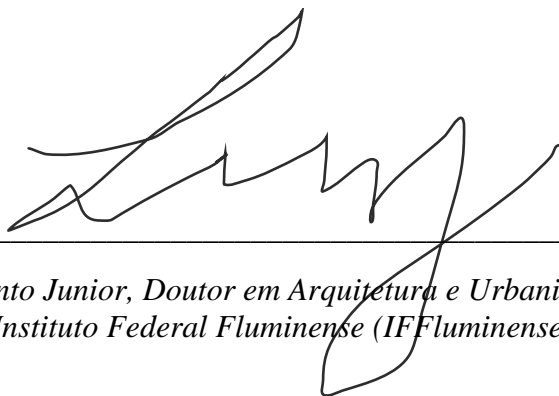
CDD 363.73874 (23. ed.)

Bibliotecário-Documentalista | Henrique Noguères Neto| CRB-7/ 5677

Dissertação intitulada **ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (CO₂): SUPORTE A DECISÃO E GESTÃO DE EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS DE APOIO OFFSHORE**, elaborada por **Saulo Marelli Matos** e apresentado, publicamente perante a banca examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Gestão Ambiental das Cidades, Gerenciamento de Resíduos e Efluentes, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 29 de abril de 2024

Banca Examinadora:



*Luiz de Pinedo Quinto Junior, Doutor em Arquitetura e Urbanismo / Universidade de São Paulo,
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador*

*Luis Felipe Umbelino do Santos, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador*

*Gabriel de Pinna Mendez, Doutor em Engenharia Civil / Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Instituto Federal Fluminense (IFFluminense)*

*Leandro Melo de Sá, Doutor em Engenharia Ambiental / Universidade Federal do Espírito Santos,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES)*

Dedico a minha família, base para todas as conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e sabedoria em todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao IFF – Instituto Federal Fluminense, esta instituição de ensino que faz parte da minha jornada pelo apoio e incentivo.

Aos meus orientadores Dr. Luiz de Pinedo e Dr. Luis Felipe Umbelino por toda paciência, compreensão, direcionamento e valiosos ensinamentos passados com leveza nesta jornada.

A todos amigos, colegas e pessoas que doaram um pouco de seu tempo para me apoiar e incentivar na busca incessante do conhecimento.

ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (CO₂): SUPORTE A DECISÃO E GESTÃO DE EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS DE APOIO OFFSHORE

RESUMO

Historicamente, a expansão da economia tem ocorrido juntamente com o aumento dos níveis de emissões de CO₂ que representa 97% dos gases de efeito estufa (IPCC,2022), resultado de um modelo de desenvolvimento altamente dependente da energia obtida por meio da queima de combustíveis fósseis. O transporte marítimo, costeiro ou de longo curso, é responsável por 80% de toda movimentação de cargas do comércio mundial e contribui com aproximadamente 3% das emissões de gases de efeito estufa, segundo dados da Organização Marítima Internacional (IMO). E a poluição atmosférica decorrente da emissão de gases e partículas é a principal ameaça ambiental global com impactos diretos na mudança do clima, aquecimento global, ondas de calor, mudanças no regime de chuvas, doenças respiratórias e outros.

O combustível fóssil empregado comumente nas embarcações é o bunker que representa um óleo pesado de baixa qualidade. Desta forma, os principais organismos internacionais têm propostas de regulamentações através de metas ambiciosas de redução das emissões para tornar o transporte marítimo mais sustentável através das iniciativas que visam o aumento da eficiência energética, otimização operacional e novas fontes de energias com o uso de combustíveis alternativos. Essas medidas em conjunto, aproveitando as potencialidades de cada região do planeta, devem promover a descarbonização do transporte marítimo com base na combinação ou aplicação simultânea para fins de reduzir a pegada ecológica do transporte marítimo e alinhar a transição em atendimento ao desenvolvimento sustentável.

Neste contexto, a dissertação atuou na estimativa de emissões atmosférica por fontes móveis considerando os principais métodos e possibilitou comparar os resultados obtidos, quantificar o impacto e compensar as emissões com a fixação do carbono por plantio de árvores ou créditos e por fim elencar as principais rotas tecnológicas para a descarbonização do setor considerando fontes de energias alternativas ao fóssil.

Palavras-chave: Estimativas de Emissão. Neutralização de Emissões. Embarcação Marítima. Zero Emissões Líquidas.

ESTIMATE OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS: DECISION SUPPORT AND VESSEL MANAGEMENT IN THE WELL AREA

ABSTRACT

Historically, the expansion of the economy has occurred together with increasing levels of CO₂ emissions, which represent 97% of greenhouse gases (IPCC,2022), the result of a development model highly dependent on energy obtained through the burning of fossil fuels.

Maritime transport, coastal or long-haul, is responsible for 80% of all cargo movement in world trade and contributes approximately 3% of greenhouse gas emissions, according to data from the International Maritime Organization (IMO). And atmospheric pollution resulting from gas and private emissions is the main global environmental threat with direct impacts on climate change, global warming, heat waves, changes in rainfall patterns, respiratory diseases and others.

The fossil fuel commonly used on vessels is bunker, which represents low-quality heavy oil. In this way, the main international organizations have proposed regulations through ambitious emissions reduction targets to make maritime transport more sustainable through initiatives aimed at increasing energy efficiency, operational optimization and new energy sources with the use of alternative fuels. These measures together, taking advantage of the potential of each region of the planet, should promote the decarbonization of maritime transport based on combination or simultaneous application to reduce the ecological footprint of maritime transport and align the transition in support of sustainable development.

In this approach, the dissertation worked on estimating atmospheric emissions from mobile sources considering the main methods and made it possible to compare the results obtained, quantify the impact and compensate emissions with carbon fixation through planting trees or credits and finally list the main routes technologies for the decarbonization of the sector considering alternative energy sources to fossil fuels.

Keywords: *Emission Estimates. Emissions Neutralization. Maritime Vessel. Zero Net Emissions.*

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO CIENTÍFICO 1

Figura 1 – <i>Emissão de CO₂ em Gton entre os anos de 1900 e 2021</i>	06
Figura 2 – <i>Etapas do método de estimativa de emissões e neutralização</i>	11
Figura 3 – <i>Consumo de diesel em metros cúbicos por embarcação no ano de 2022</i>	14
Figura 4 – <i>Variações da estimativa de emissões de CO₂ entre os métodos</i>	16

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Figura 1 – <i>Ciclo da descarbonização</i>	22
Figura 2 – <i>Rotas para alcançar zero emissões líquidas 01</i>	26
Figura 3 – <i>Rotas para alcançar zero emissões líquidas 02</i>	27
Figura 4 – <i>Rotas para alcançar zero emissões líquidas 03</i>	28
Figura 5 – <i>Rotas para alcançar zero emissões líquidas 04</i>	29

ARTIGO CIENTÍFICO 3

Figura 1 – <i>Hierarquia em inteligência de Negócios (Business Intelligence)</i>	38
Figura 2 – <i>Dashboard 1 - fator de emissão por tipo de combustível</i>	41
Figura 3 – <i>Dashboard 2 com volumes e quantidades de CO₂ emitidos</i>	42
Figura 4 – <i>Dashboard 3 - monetização (R\$) das emissões em crédito de carbono</i>	42

LISTA DE TABELAS**ARTIGO CIENTÍFICO 1**

Tabela 1 – <i>Estimativa de emissão de CO₂ eq., número de arvores e área de plantio.....</i>	15
---	----

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Tabela 1 – <i>Combustíveis alternativos por autores / artigos.....</i>	30
--	----

LISTA DE QUADROS**ARTIGO CIENTÍFICO 1**

Quadro 01 - Principais ferramentas e banco de dados para cálculo emissão GEE.....	10
---	----

ARTIGO CIENTÍFICO 2

Quadro 01 - <i>Principais contribuições dos estudos IMO para emissões de GEE.....</i>	23
Quadro 02 - <i>Estratégia de busca relacionadas as emissões x compensações no transporte.....</i>	25

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação geral de emissões.....	12
Equação 2 – Número de espécies arbóreas nativas.....	13

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP – Agência Nacional de Petróleo

BI – *Business Intelligence*

CCUS – *Carbon Capture Utilization and Storage*

DEFRA - *Department of Environmental, Food, and Rural Affairs*

EIA – *International Energy Agency*

EPA – *Environmental Protection Agency*

GEE – Gases de Efeito Estufa.

GHG – *Green House Gas.*

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

GWP – *Global Warming Potential*

H2V – Hidrogênio Verde

IFFluminense – Instituto Federal Fluminense.

IMO – *International Maritime Organization.*

IPCC – *International Panel Climate Change*

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima

RCE – Reduções Certificadas de Carbono

REDD – Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação florestal

SAF – *Sustainable Aviation Fuel*

VCS – Padrão Verificado de Carbono

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	x
RESUMO.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	01
ARTIGO CIENTÍFICO 1: ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ E A COMPENSAÇÃO POR PLANTIO DE ARVORES NO CASO EM EMBARCAÇÕES MARITIMAS.....	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	06
3. METODOLOGIA.....	09
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
5. CONCLUSÕES.....	16
6. REFERÊNCIAS.....	17
ARTIGO CIENTÍFICO 2: CAMINHOS PARA ZERO EMISSÕES LÍQUIDAS E OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO EM EMBARCAÇÕES MARITIMAS DE APOIO: RELAÇÃO EMISSÃO X COMPENSAÇÃO.....	19
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	21
3. METODOLOGIA.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS.....	32
ARTIGO CIENTÍFICO 3: FERRAMENTA DE BUSINESS INTELLIGENCE (BI) PARA SUPORTE A DECISÃO E MONETIZAR O IMPACTO AMBIENTAL EM EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	35
1. INTRODUÇÃO.....	37
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	38
3. METODOLOGIA.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5. CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS.....	44

APRESENTAÇÃO

As atividades antrópicas estão no centro da crise ambiental e a poluição do ar é uma dimensão desta ameaça ambiental global que ocorre principalmente através da emissão de gases do efeito estufa, promovendo o desequilíbrio pelo aumento da concentração de gases na atmosfera. Assim alterando a forma de absorção da energia solar na superfície do planeta com impactos diretos na mudança do clima, aquecimento global, ondas de calor, mudanças no regime de chuvas, doenças respiratórias e outros (IPCC, 2022). O tema crise ambiental no recorte das emissões de gases do efeito estufa será retratado através do estudo das emissões por fontes móveis e os principais métodos de estimativa baseado no consumo de combustíveis fósseis considerando as etapas seguintes de quantificação, neutralização por fixação de carbono, valoração do impacto na forma de crédito de carbono, metas de redução para o setor marítimo e por fim os principais caminhos para a descarbonização ou zero emissões líquidas.

O trabalho propõe como justificativa a mitigação dos efeitos de mudança do clima através do estabelecimento das estimativas, controles e metas de redução advindas das emissões atmosféricas de gases de efeito estufa por fontes móveis como o caso das embarcações marítimas em atividades offshore. Assim como, incentivar o setor de serviços de transportes e apoio operacional as unidades marítimas (Plataformas) a incorporar a medição das perdas ou ganhos ambientais vinculadas aos seus negócios em atendimento a legislação brasileira.

O estudo das emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, a aplicação dos diferentes métodos de estimativas e a formas de neutralizar ou compensar os impactos apresentam-se como objetivos gerais. O levantamento das principais metodologias e equações para fins de estimar, padronizar e suportar a tomada decisão sobre as emissões de gases utilizando sistemas informatizados são os objetivos específicos. Assim como, a aplicação dos resultados das emissões de CO₂ no âmbito do transporte marítimo para quantificar os impactos (Artigo 1) e valorar ambientalmente as iniciativas e tecnologias mais sustentável considerando o tripé de aumento da eficiência, otimização operacional e combustíveis alternativos (Artigo 2).

Cabe reforçar que o transporte marítimo é responsável pela movimentação de 80% de todas as cargas do comércio mundial e a poluição atmosférica decorrente da emissão de gases e particulados compreende uma das principais fontes de poluição. A Organização Marítima Internacional (IMO, do inglês *International Maritime Organization*) estabelece convenções e regulamentações ligadas à segurança e proteção do transporte marítimo e à prevenção da poluição do mar e da atmosfera, causada por navios e embarcações. Assim, o órgão enfatiza que metas severas de redução da intensidade de

emissão de CO₂ devem se intensificar para alcançar zero emissões líquidas até o ano de 2050 e que a melhoria do desempenho ambiental do setor de transporte e mobilidade serão alavancados pela utilização dos combustíveis alternativos como fontes de energias.

A dissertação será estruturada em quatro seções principais por meio de dois artigos acadêmicos, a saber: Apresentação da fundamentação teórica sobre a emissão de gases de efeito estufa, principalmente o dióxido de carbono; Levantamento bibliográfico das principais metodologias aplicadas na estimativa dessas emissões baseado no consumo de combustíveis fósseis; Valoração dos impactos ambientais através de medidas de compensação como o plantio de árvores e a obtenção de créditos de carbono e por fim, a pesquisa das principais rotas tecnológicas ou caminhos para a descarbonização do setor de transporte marítimo.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

ANÁLISE COMPARATIVA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE EMISSÃO DE CO₂ E A COMPENSAÇÃO POR PLANTIO DE ARVORES NO CASO EM EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MAIN METHODS FOR ASSESSING CO₂ EMISSIONS AND COMPENSATION FOR TREE PLANTING IN THE CASE ON SEA VESSELS.

Saulo Marelli Matos – IF Fluminense/PPEA

Luiz de Pinedo Quinto Junior – IF Fluminense/PPEA

Luis Felipe Umbelino do Santos – IF Fluminense/PPEA

RESUMO

No contexto de mudanças climáticas, o crescimento populacional e o processo de industrialização promovem constante procura de energia. As emissões de gases do efeito estufa (GEE) apresentam crescimentos consideráveis e o gás carbônico (CO₂) representa 97% dos gases emitidos pela queima de combustíveis fósseis.

No Brasil, o modal de transporte marítimo é responsável pelo transporte de cargas gerais e possui atuação na indústria de óleo e gás, principalmente nas operações de apoio na exploração e produção de petróleo e gás *offshore*. Um dos impactos ambientais mais relevantes nos serviços marítimos com embarcações é a poluição do ar compreendendo a emissão de gases e partículas da queima de combustíveis fósseis.

Neste recorte, buscamos avaliar com este artigo a quantidade de emissões do gás dióxido de carbono (CO₂) equivalente associado ao consumo de combustíveis fósseis e o biodiesel por fontes móveis geradoras (veículos a combustão), através da comparação dos quatro principais métodos GHG protocol, EPA, IPCC e DEFRA. Assim como, aplicamos o caso real em embarcações marítimas de apoio *offshore* e os impactos para a neutralização da emissão anual por plantio de árvores e em área plantada.

Palavras-chave: Fontes Móveis. Estimativas de Emissão. Neutralização de Emissões.

ABSTRACT

In the context of climate change, population growth and the industrialization process promote constant demand for energy. Greenhouse gas (GHG) emissions are showing considerable growth and carbon dioxide (CO₂) represents 97% of the gases emitted by burning fossil fuels.

In Brazil, the maritime transport mode is responsible for the transport of general cargo and operates in the oil and gas industry, mainly in support operations in the construction of offshore oil and gas wells. One of the most relevant environmental impacts in maritime services with vessels is air pollution, comprising the emission of gases and particles from the burning of fossil fuels.

This paper, we seek to evaluate with this article the amount of equivalent carbon dioxide (CO₂) gas emissions associated with the consumption of fossil fuels and biofuel by mobile generating sources (combustion vehicles), through the comparison of the four main methods GHG protocol, EPA, IPCC and DEFRA. As well, we apply the real case in offshore support vessels and the impacts to neutralize the annual emission by planting trees and in planted areas.

Keywords: Mobile Sources. Emission Estimates. Neutralization of Emissions.

1.0 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas estão no centro da crise ambiental e a poluição do ar é uma dimensão desta ameaça ambiental global, que ocorre principalmente, através da emissão de gases do efeito estufa e o desequilíbrio pelo aumento da concentração na atmosfera. E assim, alterando a forma de absorção da energia solar na superfície do planeta, provocando impactos diretos na mudança do clima, aquecimento global, ondas de calor, mudanças no regime de chuvas, doenças respiratórias e outros (IPCC,2022).

A urbanização com a necessidade de ampliar construções para moradias, prédios e indústrias e a circulação de pessoas, produtos e serviços por frotas móveis tem alterado consideravelmente a absorção da radiação na superfície terrestre e os seus efeitos já podem ser percebidos, como as ilhas de calor e alterações do regime de chuva, devido as emissões de poluentes gasosos para o ambiente (SEEG, 2023).

No Brasil o modal de transporte marítimo contribui para o desenvolvimento da indústria de óleo e gás, principalmente nas operações de apoio logístico e na construção dos poços de petróleo e gás, mas através da emissão de gases pela queima de combustíveis promove a degradação do meio ambiente.

Assim, um dos impactos ambientais mais importantes nos serviços de apoio marítimo com embarcações é a poluição do ar. A exaustão de gases e partículas proveniente da queima de combustíveis das embarcações são um contribuinte significativo e crescente para as emissões totais do setor de transportes. É importante conhecer a intensidade da poluição do ar pela queima de combustível (pegada de carbono) que depende da atividade das embarcações quando em operação, navegação ou em carregamento nos portos. Estes gases emitidos poderão variar em concentração, mas sempre serão compostos por NOx, SOx, CO2 e partículas suspensas (IMO, 2014).

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em apresentar a análise comparativa dos principais métodos de estimativas de emissões de gases baseado no consumo de combustíveis e demonstrar os impactos no cálculo para a neutralização da pegada de carbono pela fixação de carbono por plantio de árvores. O que torna este artigo relevante para estudantes e acadêmicos interessados em conhecer os métodos de estimativas e a prática de mitigação associadas a neutralização das emissões (Net Zero Emissions) ou a aplicação de combustíveis renováveis como o biodiesel em atividades no caso de serviços com embarcações marítimas de apoio.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

Para La Rovere (2001) e EIA (2022), a partir da Revolução Industrial começava a grande transição para os combustíveis fósseis. É apresentada na Figura 1, que desde 1900, as emissões de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis têm aumentado consideravelmente.

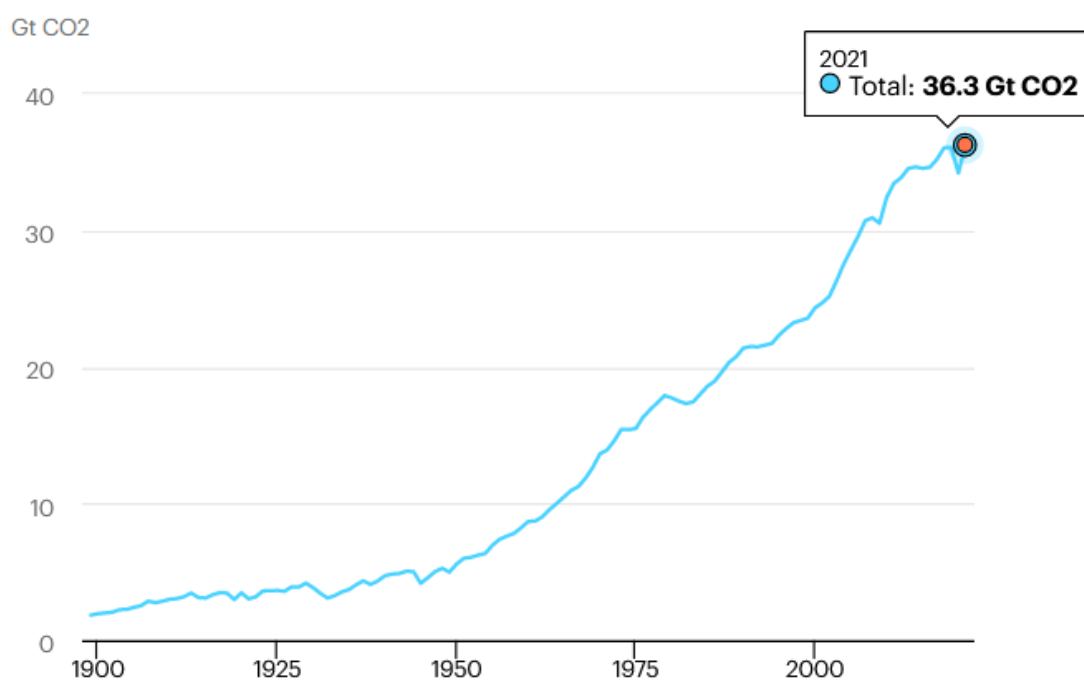


Figura 1: Emissão de CO₂ em Gton entre os anos de 1900 e 2021.

Fonte: IEA, 2022.

Para Goldemberg (2012) os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. É preciso mudar esses padrões estimulando as energias renováveis e assim, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo.

Historicamente, a expansão da economia tem ocorrido juntamente com o aumento dos níveis de emissões de CO₂, resultado de um modelo de desenvolvimento altamente dependente da energia obtida por meio da queima de combustíveis fósseis. Para os estudiosos da ciência ambiental, esta vinculação entre a atividade econômica e os fósseis alcançou níveis inaceitáveis, uma vez que os prejuízos ambientais, em especial aqueles associados ao aquecimento global, exigem a reversão de situação instalada e tornam imperativa a busca de um novo padrão de desenvolvimento (Aquino *et al.*, 2017).

Nicolau et al. (2020) ressaltam que com o advento da revolução industrial, registra-se um aumento substantivo no uso dos recursos naturais não renováveis e na produção de resíduos cujos impactos à natureza, estima-se, está no centro da ameaça aos diferentes ecossistemas. O que antes significava consumo dos recursos para atender as necessidades humanas básicas passou para um padrão de consumo que se justificava para garantir o processo de acumulação de capital.

A Política Nacional de Meio Ambiente, Lei 6.938/81 classifica a poluição como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que prejudiquem direta ou indiretamente a saúde, segurança e o bem-estar da população, condições adversas às atividades sociais, econômicas, a biota, estéticas ou sanitárias, que lancem matéria ou energia fora de padrões ambientais.

Santos *et al.* (2012) e Lima Junior *et al.* (2022) abordam que a realização do inventário de Gases de Efeito Estufa (GEE) possui o objetivo de verificar a emissão de gases em concentrações consideradas contribuintes à mudança climática. Este inventário é produto da Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) Lei nº 12.187/09 que determina ao país reduzir suas emissões entre 36,0 e 38,9 % em relação ao ano de 2005.

E a realização de inventário de emissão de GEE em dióxido de carbono equivalente (CO₂eq.) é uma medida padrão estabelecida para quantificar as emissões e tem como principal objetivo o de permitir o conhecimento do perfil de emissão, e a partir deste, realizar um planejamento para a sua redução, bem como a neutralização de carbono como uma forma de mitigação ambiental, em que empresas, instituições e cidadãos têm a possibilidade de compensar suas emissões de CO₂ por meio do plantio de árvores que fixam carbono através do processo de fotossíntese durante o crescimento e desenvolvimento (Santos *et al.*, 2010).

Quando as medições diretas não são possíveis pode-se estimar as emissões de GEE. Desta forma o SEEG (2023) define que as estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois parâmetros principais, o primeira compreende a taxa de atividade (distância percorrida, energia consumida e carga transportada, no caso do transporte de cargas) e o segundo parâmetro é o fator de emissão (quantidade de gases emitidos por unidade da taxa de atividade). E esclarece que as emissões de CO₂ equivalentes (dióxido de carbono equivalente) são estimadas convertendo os demais gases por meio dos fatores de equivalência GWP (*Global Warming Potential*) do quinto relatório de avaliação do IPCC (AR5) como exemplo para o metano (CH₄), o fator aplicado é 28 e para o óxido nitroso (N₂O), o fator aplicado é 265.

Para Auvinen *et al.* (2011) as estimativas de emissões de GEE possuem suas principais metodologias baseados dois grandes fundamentos, a primeira consiste no consumo de combustíveis e

o segundo, nas metodologias baseadas em atividades. As metodologias baseadas no consumo de combustíveis usam dados reais como base para estimar as emissões associadas, considerando o tipo do combustível, composição e nos pressupostos em relação à sua combustão.

De acordo com Simão *et al* (2022) e Azarkamand, S. *et al* (2020) as metodologias baseadas em consumo de combustíveis são preferenciais quando os registros históricos estão disponíveis e pode ser utilizado para avaliar cenários futuros de melhoria. Já as abordagens baseadas em atividades fornecem uma metodologia que, embora não seja tão precisa para medir as emissões históricas de CO₂ como as abordagens baseadas no consumo de combustíveis, é muito melhor para situações de planejamento. Nos métodos baseados em atividade, algumas medidas de atividade, como quilômetros percorridos pelo veículo ou tonelada-km movidas, são multiplicadas por um fator de nível macro para estimar as emissões totais de CO₂.

A utilização de combustíveis fósseis promove emissões ao longo de seu ciclo de vida, as quais são responsáveis por uma das mais relevantes categorias de impacto ambiental: o aquecimento global devido ao efeito estufa. Esta categoria de impacto está relacionada à emissão de gases de efeito estufa (GEE), tem como principais gases causadores o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Os estudos comparativos das emissões oriundas entre o uso do biodiesel e o entre o diesel de petróleo devem considerar os respectivos combustíveis, pois os impactos ambientais estão geralmente associados à utilização do combustível e da matéria-prima usada no seu preparo ou obtenção, à emissão de poluentes e à produção de resíduos (SEEG, 2023).

O biodiesel resulta da conversão de diferentes tipos de óleos e gorduras de origem vegetal ou animal em uma substância com viscosidade e características de combustão semelhantes às do diesel de petróleo. Isto se dá através de reação química entre triglicerídeos ou ácidos graxos e um álcool de pequena cadeia carbônica (geralmente, metanol ou etanol). A substituição do diesel de petróleo por biodiesel contribui para a melhoria do balanço energético pela característica renovável e por consequência para a elegibilidade de uma maior quantidade de créditos de carbono (Dos Reis *et al.*, 2013).

Santos *et al* (2010) e Rogelj *et al* (2021) apresentam como prática de neutralizar emissões (*Net zero*) o plantio de árvores equivalentes à emissão de gases. Uma vez que, ao longo do tempo de crescimento, a árvore sequestra dióxido de carbono da atmosfera para fazer a fotossíntese e compor sua estrutura. Essa é uma ação ambiental que gera diversos benefícios, porém irão demandar entre 15 e 20 anos para absorver as emissões de carbono. Os créditos de carbono são também uma forma indicada para neutralizar ou compensar as emissões, pois equivalem à redução ou absorção de uma

tonelada de CO₂ equivalente, e o conceito vem sendo amplamente debatido como pagamento por serviços ambientais, no incentivo a projetos socioambientais certificados e auditados, conforme diretrizes definidas pelo Protocolo de Kyoto.

Para *Elshkaki e Shen (2022)* no contexto da transição energética para a estabilização do clima, a magnitude da crise global em relação ao aumento de temperatura é diretamente proporcional ao CO₂ emitido cumulativo na atmosfera, de modo que adicionar qualquer quantidade de CO₂ aumentará as quantidades futuras de aquecimento. Por isso, alcançar emissões líquidas de zero é uma meta cada vez mais desafiadora em todo o mundo e é fundamental uma transição energética rápida e abrangente das fontes de energia, incluindo reduções drásticas no uso de combustíveis fósseis, melhorias substanciais em eficiência energética e gerenciamento do carbono emitido. Além disso, a transição energética deve ser conciliada com os objetivos de desenvolvimento sustentável e considerar a infraestrutura de energia fóssil existente.

Assim, a valoração das emissões é um importante incentivo e ampliação dos levantamentos das organizações e órgãos reguladores buscando sistematizar as etapas do processo através da qualidade, quantificação, comparação, avaliação da efetividade das iniciativas de redução, bem como a neutralização do gás carbonico equivalente lançadas no meio ambiente, podendo ser aplicado por qualquer empresa e seguimento com fontes móveis movidas por combustíveis fósseis.

3.0 METODOLOGIA

Este artigo utilizou como metodologia qualitativa e descritiva quanto aos objetivos para estimativa de emissões de CO₂ por etapas aplicada a fontes móveis como embarcações de apoio marítimo até a neutralização.

Assim como, os objetivos estabelecidos para este artigo de estimativa das emissões foram objetos de estudo as diversas iniciativas para o cálculo das emissões de gases do efeito estufa, conforme levantamento mostrado no Quadro 1.

<i>Métodos</i>	<i>Responsável</i>	<i>Descrição</i>
BOTTOM UP E TOP DOWN	IPCC, 2006 agência ligada a ONU.	Desenvolvido pelo IPCC (Painel Intergovernamental de mudança do clima), baseia-se nas emissões de dióxido de carbono equivalente através dos dados de produção e consumo de energia e permite que sejam estudados diversos outros gases além do CO ₂ .

DEFRA	Departamento de meio ambiente do governo inglês.	Banco de dados de fatores de emissão para combinação de diferentes tipos de veículos, combustível e fatores de utilização de capacidade.
US EPA 2005 Environmental Protection Agency	EPA, agência de proteção ambiental do governo dos EUA.	Calculadora de GEE desenvolvida para converção dados de emissões ou energia para a quantidade equivalente de emissões de dióxido de carbono (CO ₂). Emissões anuais de carros, residências ou usinas elétricas. Atua na estratégia de redução de gases de efeito estufa, metas de redução ou outras iniciativas.
Programa GHG Protocol	Metodologia publicado pelo <i>World Resources Institute (WRI)</i> em 2010. Seguido pelo Brasil através do Ministério do Meio Ambiente.	Abordagem bem estruturada e com grande aceitação para medição de emissões no nível corporativo ou de produto. Divide as emissões em 03 grandes escopos como direta, indiretas e biomassa não fósseis.
World Ports Climate Initiative (WPCI)	Associação internacional de portos e ancoragem (IAPH).	Abordagem com grande aceitação para transporte marítimo de curto percurso, longo percurso e terminais.
Norma ISO 14.064	A versão brasileira da norma ISO 14064 foi elaborada pelo Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental – ABNT/ por meio de seu Subcomitê de Mudanças Climáticas.	Detalha e orienta as organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa. Inclui requisitos para projeto, desenvolvimento, gerenciamento, emissão de relatórios e verificação do inventário de GEE de uma organização.
Metodologia ACV (Análise do Ciclo de Vida)	Iniciativa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) que visa estimular a prática de avaliação do ciclo de vida desde 2002.	Metodologia que avalia os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida e é aplicada para estimar as emissões de GEE associadas.

Quadro 1: Principais ferramentas e banco de dados para cálculo emissão GEE.

Fonte: Adaptado de Nicolau et al., 2020.

Como principal apoio a metodologia científica na realização do inventário foram utilizadas as etapas de seleção do método para medição da emissão de CO₂, levantamento dos dados de inventário de consumo de combustível, equacionamento das emissões de CO₂ para cada metodologia, análise comparativa das emissões por método e por fim cálculo de neutralização das emissões considerando a fixação do carbono por árvores no bioma de Mata Atlântica em um horizonte de 20 anos. Assim, foi

possível aplicar a análise comparativa entre os quatro principais métodos de estimativas de emissão de CO₂ equivalentes, conforme etapas descritas Figura 2:

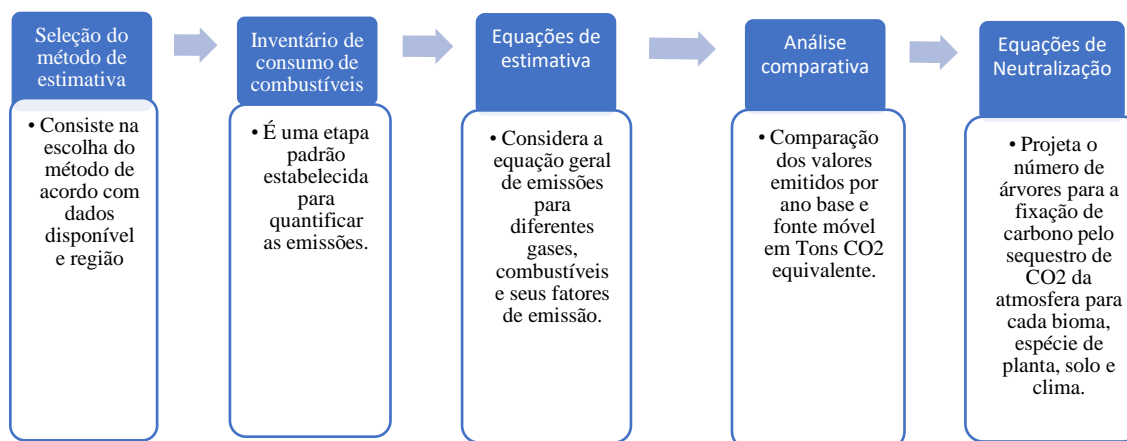


Figura 2: Etapas do método de estimativa de emissões e neutralização.
Fonte: Adaptado de Santos et al., 2010.

3.1 Seleção do método para medição de emissão

A escolha do método para avaliar as estimativas das emissões de GEE como CO₂ é uma etapa importante para o desenvolvimento de práticas de gestão das emissões, com objetivo de mitigar os impactos no aquecimento global. Entretanto, devido à grande variedade de métodos existentes, a escolha do método que deve ser usado pode causar confusão nos gestores e devem ser selecionados de acordo com a aplicabilidade, dados disponíveis e similaridades regionais (Simões et al, 2022).

3.2 Inventário de consumo de combustível

Segundo WRI (2012), o inventário de consumo de combustíveis é o primeiro passo que uma organização precisa fazer é identificar os problemas e oportunidades em capturar os GEE. Para isso, é necessário elaborar o relatório de emissões, por meio de cálculo e o planejamento dos inventários através da adoção de metas, limites operacionais e organizacionais com a função de identificar as atividades emissoras de GEE direta e indiretamente. Os inventários de emissões visando quantificar e estimar podem ser aplicados considerando os principais métodos mundialmente difundidos são o *IPCC (2006)*, *US EPA (2005)*, *GHG Protocol* e *DEFRA*.

O inventario de emissões baseado no consumo de combustível em embarcações de apoio

offshore contou com sistemas informatizado de *business intelligent* (Power BI) para consolidar os consumos diários por cada operação com plataformas, navegação e abastecimento considerando 700 linhas por ano para 03 embarcações.

3.3 Equação para a estimativa de emissão de gases

Para Santos *et al.* (2010) as estimativas de emissões atmosféricas se baseiam em dois conjuntos principais de Informações. A quantidade de atividade desenvolvida como exemplos a distância percorrida, energia consumida, carga transportada e o fator de emissão como a taxa de gases emitidos por unidade de atividade em exemplo dos fatores mais usuais temos a tonelada por quilômetro, quilogramas por litro, entre outros.

O cálculo das emissões de CO₂ por consumo de diversos tipos de combustíveis (tanto em sistemas de combustão móvel como estacionária) emprega-se a equação geral de emissões considerando os diferentes métodos, tipos de gases emitidos, fatores de emissão e combustíveis (Santos *et al.*, 2010).

$$\text{Emissão}_k = \sum(CC l_j * EF_j) \quad \text{Eq. (1) equação geral de emissões}$$

Onde:

Emissão_k = Emissão de gás k (Kg);

K = Tipo de gás emitido (CO₂, CH₄, NO_x, SO_x, outros)

CC l_j = Combustível consumido (L);

EF_j = Fator de emissão do combustível j (Kg.L⁻¹);

j = Tipo de combustível (Álcool, Biodiesel, Diesel, Gasolina e GLP).

3.4 Análise comparativa da emissão

Esta etapa consiste em analisar as emissões sob tutela de diferentes metodologias e torna possível avaliar a importância de se inventariar emissões, porém tomando os cuidados para não incorrer em subestimativas ou superestimativas, procurando apontar de forma coerente os patamares de emissões de dióxido de carbono para direcionar eficiente e eficazmente as medidas mitigadoras.

Para Auvinen *et al.* (2011) é essencial a harmonização do cálculo de emissões para o desenvolvimento de um padrão que seja usado pela indústria em nível mundial e que ainda é preciso entregar resultados que permitam identificar as melhores práticas na indústria no que diz respeito à sua eficiência e sustentabilidade. Uma estreita cooperação entre as empresas, as pesquisas e os órgãos

governamentais são necessárias para o desenvolvimento de uma metodologia global.

3.5 Neutralização das emissões (*Net zero*)

A neutralização acontece quando você quantifica as emissões de carbono de uma atividade e depois realiza uma ação, na mesma proporção, porém de redução dessas emissões fixando os carbonos emitidos. Os benefícios passam pela viabilização de uma nova tecnologia que impacte menos o meio ambiente, pela preservação de florestas nativas e até pelo desenvolvimento das comunidades estabelecidas próximas as fontes emissoras.

Rogelj *et al.* (2021) enfatizam que todos os caminhos compatíveis com o acordo de Paris disponíveis para atender ao uso de emissões líquidas zero de gases de efeito estufa precisam aplicar uma combinação de três estratégias como a redução rápida de grandes quantidades de CO₂, reduções profundas em gases de efeito estufa não-CO₂ e formas relevantes de para a remoção de CO₂ da atmosfera.

Azevedo e Quintino (2010) definem neutralização por biomassa como a retirada do CO₂ da atmosfera e conversão pela fotossíntese através da absorção deste gás e liberação de O₂ e assim fixação do carbono (C) nos troncos, galhos, folhas e raízes que representam 50% de sua massa e os outros 50% por água. E abordam que é possível estimar o número de espécies arbóreas nativas para plantio visando neutralizar o CO₂ emitido em um período através da equação abaixo:

$$N = \left[\left(\frac{E_t}{F_f} \right) \cdot 1,2 \right] \quad \text{Eq. (2) Número de espécies arbóreas nativas.}$$

Onde:

N = Número de árvores;

E_t = Emissão total de GEE (toneladas CO₂ eq)

F_f = Fator de Fixação de Carbono em biomassa no bioma do plantio;

1,2 = Fator de de compensação de perdas de mudas;

Assim, cada árvore da Mata Atlântica absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente ao longo de seus primeiros 20 anos. É o que comprovou um estudo realizado pelo Instituto *Totum e* pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ, 2013), da Universidade de São Paulo em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No contexto da transição energética o uso eficiente dos combustíveis fósseis e de fontes alternativas e renováveis como o biodiesel é uma opção para se adequar as regras e metas ambientais. Pontos relevantes para estudantes e acadêmicos interessados em conhecer os métodos de estimativas e práticas de mitigação associados a neutralização (*Net Zero*) ou aplicação de combustíveis sustentáveis.

Muitas adaptações foram realizadas nos métodos de estimativas de emissões de GEE para possibilitar a aplicação em diferentes cenários e regiões. De acordo com Auvinen *et al.* (2011) é desejável aplicar os fatores de emissão modelados e calculados com base em dados reais da região, para cada item a ser inventariado, o que se torna complexo e oneroso. Para que ações mitigadoras sejam planejadas e executadas de forma eficiente e eficaz, faz-se necessário conhecer as atividades que emitem GEE e determinar o método a ser utilizado dependendo das características da unidade a ser inventariada e, no caso de resultados conflitantes como estes, optar pela alternativa mais otimista ou pessimista será uma decisão a ser tomada com base na experiência da equipe de inventário.

Atendendo os objetivos deste artigo aplicamos para fins de comparação os valores estimados de emissão do gás CO₂ correspondendo a 97% das emissões, considerando os quatro principais métodos em termos de relevância e aplicações mundiais o IPCC, EPA, GHG protocol e DEFRA. Bem como, respeitou-se o recorte do consumo de diesel combustível e biodiesel 100% para três embarcações com atuação nos serviços marítimos em operações de apoio na intervenção dos poços de petróleo e gás nas bacias de Santos, Campos e Espírito Santos, durante todo o ano de 2022 (Figura 3)

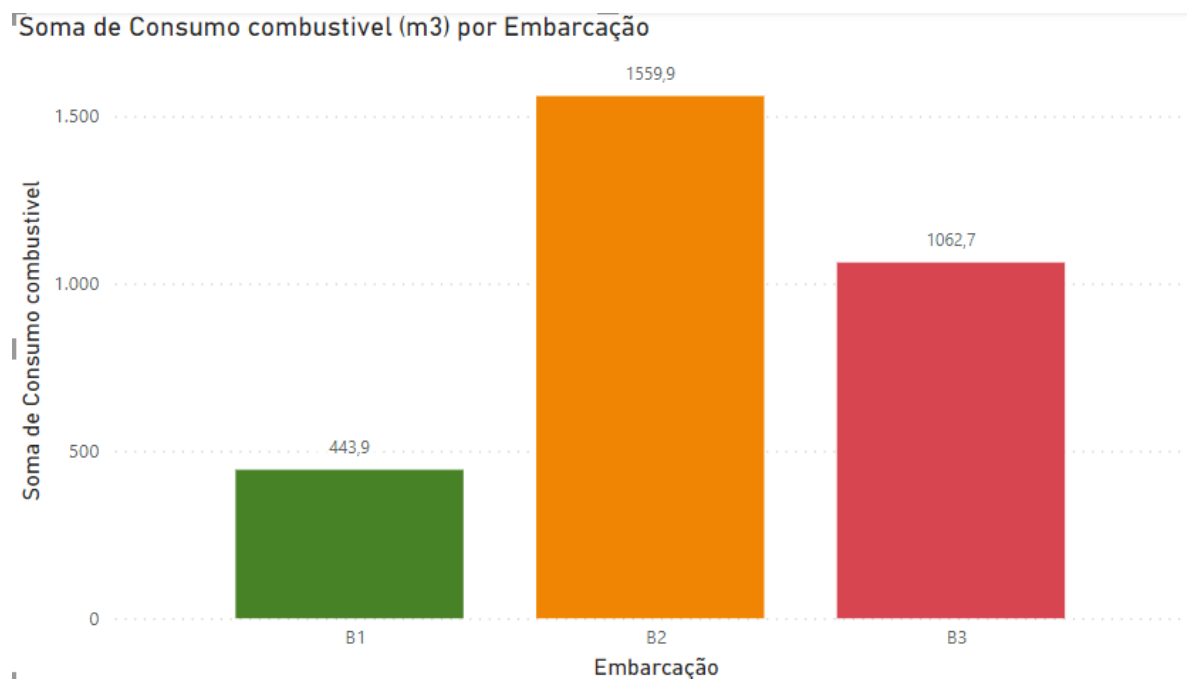


Figura 3 – Consumo de diesel em metros cúbicos por embarcação no ano de 2022.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Como iniciativa para a neutralizar as emissões líquidas do gás CO₂ pela fixação de carbono por plantio de árvores foi utilizado a convenção que 1 tonelada de carbono estocada na floresta equivale 3,67 (44/12) toneladas de CO₂ equivalentes sequestrados da atmosfera correspondendo o período de crescimento mais intenso de 20 anos no bioma de Mata Atlântica. Então, cada árvore absorve 163,14 kg de gás carbônico (CO₂) equivalente neste bioma ao longo dos primeiros 20 anos, conforme Azevedo & Quintino (2010) *apud* Santos et al (2010). Assim, avaliamos os impactos dos diferentes métodos de estimativa na mitigação das emissões e nos investimentos em áreas de plantios ou áreas recuperadas.

A Tabela 1 apresenta os dados das emissões de CO₂ equivalentes das três embarcações durante todo o ano de 2022 considerando os quatro principais métodos de estimativa e os dois tipos de combustíveis sugeridos como alvo da análise comparativa. Demonstra também o número de árvores no bioma de mata atlântica necessários para sequestrar e neutralizar o CO₂ equivalente emitido, bem como a área de plantio necessária para suportar qualquer iniciativa de neutralização dos impactos promovidos pela emissão de GEE considerando a premissa de 6 m² de área por cada árvore.

<i>Escopo (EI)</i>	<i>Tipo de Combustível</i>	<i>Método de Estimativa</i>	<i>Fator de Emissão (Kg CO2 eq. / L)</i>	<i>Referência</i>	<i>Emissão Ton. CO2 eq/Ano</i>	<i>Nº de árvores M.A. / Ano</i>	<i>Área de Plantio (Hectare*) / Ano</i>
<i>Fator de emissão para combustão Móvel</i>	<i>Diesel 100%</i>	<i>IPCC</i>	2,650	IPCC 2006	8.126	49.812	29,890
		<i>US EPA</i>	2,697	AR 42	8.270	50.695	30,420
		<i>GHG Protocol</i>	2,603	BEN 2021	7.982	48.928	29,357
		<i>DEFRA</i>	3,110	UK Gov 22	9.537	58.458	35,075
	<i>Biodiesel 100%</i>	<i>IPCC</i>	2,500	IPCC 2006	7.666	46.992	28,195
		<i>US EPA</i>	2,497	AR 42	7.657	31.013	18,608
		<i>GHG Protocol</i>	2,431	BEN 2021	7.455	45.695	27,417
		<i>DEFRA</i>	0,168	UK Gov 22	514	3.148	18,891

* Nota: 1 hectare igual a 10.000 m²

Tabela 1: Estimativa de emissão de CO₂ eq., número de árvores e área de plantio.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A maior variação encontrada entre os métodos para o combustível 100% diesel compreendeu o valor de 16,3% de redução de área de plantio entre os métodos DEFRA e GHG protocol. A maior variação entre os métodos para o combustível 100% biodiesel compreendeu o valor de 93,3% de redução de área de plantio entre os métodos IPCC e DEFRA, conforme apresentada na Figura 4.

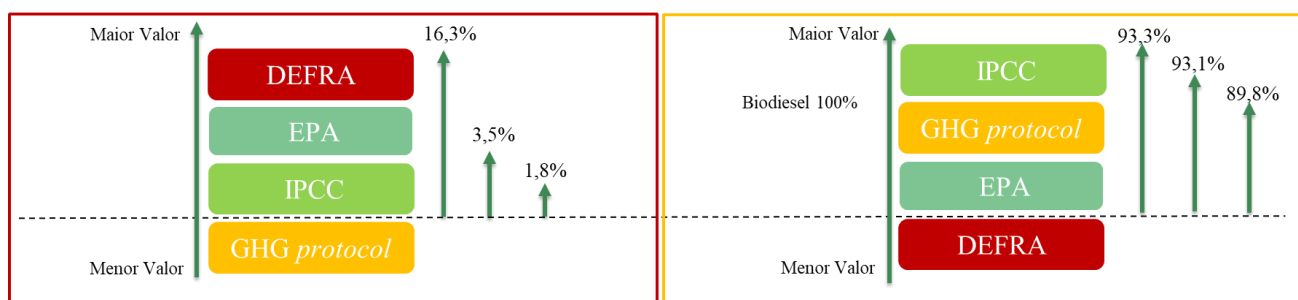


Figura 4: Variações da estimativa de emissões de CO₂ entre os métodos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

E por fim, comparando as variações entre os métodos e tipos de combustível foi possível constatar uma redução de área plantio de até 94,6% entre o método DEFRA. Pois este método considera o carbono equivalente sequestrado e fixado durante o crescimento da planta geradora de Biodiesel ao contrário dos outros métodos.

5.0 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que os métodos elencados para a comparação permitem estimar os gases de efeito estufa como CO₂ equivalente emitidos por fontes geradores móveis, principalmente adotando como ferramenta, as etapas de estimativas e neutralização por plantio de árvore.

E apesar das variações entre os diferentes métodos no fator de emissões e a especificidade no fator de fixação de carbono para cada bioma, as organizações podem determinar o número de árvores nativas de um determinado bioma e a área de plantio para neutralizar suas emissões como maneira de mitigação ambiental.

A utilização do biodiesel como combustível apresenta grandes vantagens quando o método selecionado contabiliza o CO₂ absorvido/fixado pelas plantas geradoras de bioenergia durante seu crescimento e como resultado a propõe um menor fator de emissão, como exemplo o método DEFRA. Mas constatamos que não é uma prática comum aplicada por todos os métodos de estimativa.

E por fim, destacamos que os objetivos deste trabalho foram atingidos através da comparação dos principais métodos de estimativa de emissões de gás carbônico (CO₂ equivalente) considerando suas variações relevantes entre os métodos e os tipos de combustíveis mais utilizados por fontes geradoras móveis como no caso das embarcações marítimas em serviços de apoio na costa brasileira.

6.0 REFERÊNCIAS

Aquino, C.N.P.; Pereira, L.A.C; Rangel, J.J.A; Shimoda, E., *Desacoplamento entre emissões de CO2 e crescimento econômico no Brasil e em outros países*. Artigo científico publicado em VÉRTICES, Campos dos Goytacazes/RJ, v.19, p. 23-52, 2017.

Auvinen, H.; Clausen, U.; Davydenko, I.; Diekmann, D.; Ehrler, V.; Lewis, A., *Existing methods and tools for calculation of carbon footprint of transport and logistics*. [S. l.: s. n.], 2011.

Azarkamand, S.; Wooldridge, C.; Darbra, R.M., *Review of initiatives and methodologies to reduce CO2 emissions and Climate change effects in Ports*. International Journal of Environmental Research and Public Health, Barcelona/Spain, doi 10.3390, May 2020.

Azevedo, M. F. C.; Quintino, I., *Manual Técnico: Um programa de compensação ambiental que neutraliza emissões de carbono através de projetos socioambientais de plantio de mudas nativas*. Rio de Janeiro: Ambiental Company, 17 p, 2010.

EIA (U.S. Energy Information Administration). *CO2 Emissions from fuel combustion, global energy review 2021 Edition*. Paris: OECD/ IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021/co2-emissions>. Acesso em 12 dez. 2022.

DEFRA. *Guidance on measuring and reporting Greenhouse Gas (GHG) emissions from freight transport operations*. London: DEFRA, 2023.

Dos Reis, E. F.; Cunha, J.P.B.; Mateus, D.L.S.; Delmond, J.G.; Couto, R.F., *Desempenho e emissões de um motor-gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande – PB, p.565–571, 2013.

Elshkaki, A.; Shen, L. *Energy Transition towards Carbon Neutrality*. Energies 2022, 15, 4967. <https://doi.org/10.3390/en15144967>. 2022.

EPA. *Emission facts: average carbon dioxide emissions resulting from gasoline and diesel fuel*. Washington: EPA, 2005.

ESALQ. *Arvore da mata atlântica retira CO2 da atmosfera*. USP ESALQ, 2013. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/acom/clipping_semanal/2013/3marco/23_a_29/files/assets/downloads/page013. Acesso em: 06 de junho. 2023.

Goldemberg, j.; lucon, O. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

IMO (International Maritime Organization). *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014*. Disponível em: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/ThirdGreenhouseGasStudy/GHG3ExecutiveSummaryandReport.pdf>. Acesso em 16 de novembro de 2022.

IPCC. *Intergovernmental Panel Climate Change 2022: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 01 de novembro 2022.

Lima Junior, R.N.C.; Oliveira, M.M.; Corrêa, S.M.; Saraiva, V.B.; *Caracterização da Emissão de*

Gases de Efeito Estufa do Lixão em Cabo Frio, RJ. Revista Internacional de Ciências, Rio de Janeiro, v. 12, n. 01, p. 26 - 40, jan-abr 2022. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/ojs/index.php/ric>. Acesso em 12 dez. 2022.

La Rovere, E., **Energia, desenvolvimento e o meio ambiente global.** In: MAGRINI, A.; SANTOS, M. A. (Ed.). Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE/Instituto Virtual Internacional de Mudanças Climáticas, 2001.

Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.** Diário Oficial da União: República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2009/lei/112187.htm. Acesso em: 25 de novembro 2022

Nicolau, O.N.B; Chaves, G.L.D.;Zanchetta, I.T.; **Avaliação do consumo energético e emissões de dióxido de carbono do transporte rodoviário do Brasil (2016-2026).** Biblioteca digital de periódicos da UFPR: Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 54, 205-226, jul./dez. 2020.

Rogelj, J.; Geden, O.; Cowie, A.; Reisinger, A., **Three ways to improvenet-zero emissions targets.** Nature. Volume 591. Páginas 365 a 368. 2021.

Santos, D.R.R.; Picanço, A.P.; Maciel, G.F.; Serra, J.C.V., **Estudo de neutralização dos gases de efeito estufa da universidade federal do tocantins - reitoria e campus universitário de palmas: uma forma de mitigação ambiental.** Publicação Revista RGA. Pág. 29 – 40. Tocantins: UFT. 2010.

SEEG. **Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)**, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/entenda-as-estimativas/>. Acesso em: 06 de junho. 2023.

Simão, L. E.; Scariot, G.L.; Cezne, M.A., **Transporte Rodoviário de Cargas: Como selecionar um método para cálculo de emissão de CO2 da sua frota?** Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis/SC, v.15, edição especial, jun./jul. 2022.

US EPA. 2008. **United State Environmental Protection Agency. Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol Core Module Guidance: Direct Emissions from Mobile Combustion Sources.** Disponível em: <epa.gov/stateply/documents/resources/mobilesource_guidance.pdf>. Acessado em: 17/05/2023.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

CAMINHOS PARA ZERO EMISSÕES LÍQUIDAS E OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO EM EMBARCAÇÕES MARÍTIMAS DE APOIO: RELAÇÃO EMISSÃO X COMPENSAÇÃO.

PATHWAYS TO ZERO NET EMISSIONS AND OBTAINING CARBON CREDITS ON SEA SUPPORT VESSELS: EMISSION X COMPENSATION RELATIONSHIP.

Saulo Marelli Matos – IF Fluminense/PPEA

Luiz de Pinedo Quinto Junior – IF Fluminense/PPEA

Luis Felipe Umbelino do Santos – IF Fluminense/PPEA

RESUMO

Considerando os compromissos climáticos internacionais, diversos segmentos econômicos estão sendo estimulados pelo processo de descarbonização e neutralização de suas emissões provenientes de combustíveis de origem fóssil.

O modal de transporte marítimo é responsável pelo comércio de cargas gerais e possui forte atuação no Brasil nas operações de exploração e produção de petróleo e gás *offshore*. Um dos impactos ambientais mais importantes nos serviços marítimos com embarcações é a poluição do ar através da emissão de gases e partículas da queima de combustíveis fósseis.

Neste recorte, o objetivo deste artigo consiste em apresentar por meio de pesquisa bibliográfica as práticas promissoras e tendências para a redução das emissões de gases de efeito estufa considerando as rotas tecnológicas para a obtenção de *zero emissões líquidas* e os *créditos de carbono* no âmbito das embarcações marítimas como fontes móveis emissoras.

Palavras-chave: Emissões Líquidas. Crédito de Carbono. Embarcação Marítima.

ABSTRACT

Considering international climate commitments, several economic segments are being stimulated by the process of decarbonization and neutralization of their emissions from fossil fuels.

The maritime transport mode is responsible for general cargo trade and has a strong presence in Brazil in offshore oil and gas exploration and production operations. One of the most important environmental impacts in maritime services with vessels is air pollution through the emission of gases and particles from the burning of fossil fuels.

In this paper, the objective is to present, through bibliographical research, promising practices and trends for reducing greenhouse gas emissions considering technological routes to obtain zero net emissions and carbon credits within the scope of vessels maritime as mobile emission sources.

Keywords: *Net Zero Emissions. Carbon Credit. Maritime Vessel.*

1.0 INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas estão no centro da crise ambiental e a poluição do ar é uma dimensão desta ameaça ambiental global, que ocorre principalmente, através da emissão de gases do efeito estufa e o desequilíbrio pelo aumento da concentração desses gases na atmosfera (IPCC, 2022).

No contexto dos transportes de cargas, as embarcações marítimas são responsáveis por aproximadamente 80% do comércio mundial em volume e representa 3% das emissões de gases do efeito estufa, contribuindo para o impacto ambiental em áreas costeiras e portos. Desta forma, deve enfrentar grandes alterações envolvendo o uso e transportes de combustíveis alternativos contribuindo para a descarbonização e eficiência ambiental do segmento (IMO, 2023).

É importante conhecer que a aplicação de combustíveis alternativos e tecnologias para sistemas híbridos de energias são alternativas que melhoram o desempenho das fontes emissoras móveis, pois atuam diretamente na redução das emissões de gases e eficiência energética no curto e médio prazo. Bem como, atuam positivamente como projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo e no sistema de crédito de carbono atribuído as emissões de CO₂ evitadas na atmosfera pelo setor de transporte marítimo (SINAVAL, 2020).

Portanto, o objetivo principal deste trabalho consiste em apresentar as metas do setor marítimo e rotas com foco em zero emissões líquidas provenientes da queima de combustíveis fóssil e os aspectos positivos na forma de projetos de créditos de carbono para as organizações.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

Para *Elshkaki e Shen (2022)* no contexto da transição energética para a estabilização do clima, a magnitude da crise global em relação ao aumento de temperatura é diretamente proporcional ao CO₂ emitido cumulativo na atmosfera. Por isso, alcançar emissões líquidas de zero é uma meta cada vez mais desafiadora em todo o mundo e é fundamental uma transição rápida e abrangente das fontes de energia, incluindo reduções drásticas no uso de combustíveis fósseis, melhorias substanciais em eficiência energética e gerenciamento do carbono emitido.

Segundo *Anater et al (2016)* o Protocolo de Kyoto, que prevê a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa através do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). As nações em desenvolvimento podem reduzir voluntariamente as emissões de gases de efeito-estufa, gerando

créditos de carbono, chamados de reduções certificadas de carbono (RCEs), que podem ser vendidos a países desenvolvidos. Sendo assim, a convenção das Nações Unidas sobre mudança do clima (UNFCCC) é o órgão que registra os projetos adequados ao âmbito do MDL.

Anater *et al* (2016) e Kempfer (2016) mencionam outro mecanismo de geração e venda de créditos de carbono, o padrão verificado de carbono (VCS) que compreende um método onde projetos podem comprovar que estão efetivamente reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e qualquer país de forma voluntária pode participar. Neste programa são geradas as unidades de carbono verificadas, onde corporações, organizações e pessoas adquirem voluntariamente a fim de colaborar e incentivar as reduções globais de emissão de GEE.

Godoy (2013), Silveira e Oliveira (2021) afirmam que dos mecanismos de comércio de emissões, surgiu o estabelecimento de dois tipos de mercados de créditos de carbono no mundo: o oficial (Protocolo de Kyoto) e o voluntário (Alternativo).

Silveira e Oliveira (2021) e Anater *et al* (2016) concluem que energias renováveis são fundamentais para diversificação da matriz energética. Tanto no mercado oficial (RCE) e no mercado voluntários (VCS) é observado que projetos que visam o aproveitamento de energias renováveis são a maioria e há uma predominância na substituição do combustível fóssil, geralmente por biocombustível renovável. Contribuindo para o ciclo de descarbonização conforme representado na Figura 1.



Figura 1: Ciclo da descarbonização.

Fonte: Adaptado de Silveira e Oliveira (2021).

Há várias maneiras de gerar crédito de carbono, como: *diminuição do desmatamento, substituição dos combustíveis fósseis e a utilização de biomassas renováveis* (Cesca et al., 2023). Através da redução certificada de emissões ou unidades de carbono verificadas são os meios de comprovação dos projetos geradores do conhecido crédito de carbono e é mensurado por cada unidade de crédito de carbono que representa uma tonelada de carbono que deixou de ser emitida para a atmosfera.

Assim sendo, estudos sobre emissões pelas embarcações marítimas foram publicadas em 2000, 2009, 2014 e 2020, sendo conhecidos como primeiro, segundo, terceiro e quarto estudos da IMO sobre gases de efeito estufa (IMO, 2023). O Quadro 1 apresenta em síntese as principais contribuições de cada estudo publicado pela IMO.

<i>Estudo / Ano</i>	<i>Principais contribuições</i>
Primeiro Estudo / 2000	<ul style="list-style-type: none"> • O transporte marítimo contribui pouco para o total mundial de emissões de CO₂ (1,8% do total mundial de emissões de CO₂ em 1996). • Modelos estatísticos e metodologias de emissões baseadas no consumo de combustível aplicados para estimar as emissões atmosféricas em embarcações. • Ambas as metodologias possuem incertezas relacionadas aos fatores de emissão atualmente adotados.
Segundo Estudo / 2009	<ul style="list-style-type: none"> • Os gases de emissões fugitivas foram a principal fonte de emissões dos navios. • O dióxido de carbono foi o GEE mais importante emitido pelas embarcações. • Cenários de emissões mostraram que, até 2050, na ausência de políticas, as emissões dos navios poderão crescer entre 200% e 300% (em comparação com as emissões de 2008) como resultado do crescimento do comércio mundial.
Terceiro Estudo / 2014	<ul style="list-style-type: none"> • Para o período 2007-2012, em média, o transporte marítimo foi responsável por aproximadamente 2,8% dos GEE anuais com base no CO₂e, usando conversões do potencial de aquecimento global de 100 anos do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5). • Concluiu que a redução na velocidade e a redução associada no consumo de combustível não se relacionam com um aumento percentual equivalente na eficiência, porque é necessário um maior número de embarcações para realizar a mesma quantidade de trabalho de transporte.

Quarto Estudo / 2020	<ul style="list-style-type: none"> • A participação das emissões do transporte marítimo nas emissões antrópicas globais aumentou de 2,76% em 2012 para 2,89% em 2018. • Foi o primeiro estudo capaz de distinguir as emissões de GEE das navegações domésticas e as internacionais, seguindo as orientações e metodologias dos IPCC. • Realizou projeções de aumentos das emissões para 2050 de 90 a 130% do valor comparado ao ano de 2008.
----------------------	---

Quadro 1: Principais contribuições dos estudos IMO para emissões de GEE.

Fonte: IMO (2023).

Para Kouchaki-Penchah *et al.* (2023) em cenários de zero emissões líquidas prevê-se que a quota de energia renovável (eólica e solar) aumente significativamente e a utilização de combustíveis fósseis diminuem significativamente à medida que mais energias renováveis se tornam disponíveis para cumprir a meta líquida de zero.

As fontes de energia eólica e solar são as principais candidatas para substituição das necessidades energéticas globais (Anater *et al.* 2016 e Rogelj *et al.* 2021). No entanto, devido à variação sazonal do vento e do sol, e ao fato da maioria das regiões ter pouca ou nenhuma destas fontes de energia renováveis, os combustíveis de energia renovável continuam sendo os pilares do setor energético.

Embora os combustíveis com zero carbono, especialmente o hidrogênio, sejam os mais preferidos, a importância de garantir uma cadeia de abastecimento constante e ininterrupta e a urgência da obtenção de emissões líquida zero em 2050, exige o aproveitamento de combustíveis renováveis alternativos que sejam rentáveis, aplicável, armazenável por longo tempo e adquirido localmente (Wu *et al.*, 2022).

Para Anika *et al.* (2022) e Wu *et al.* (2022) a eficiência energética, a energia solar e a energia eólica serão responsáveis por cerca de metade das reduções de emissões líquidas até 2030. E projetam um aumento da eletrificação, da utilização de hidrogênio e da captura e armazenamento de carbono (CCUS), para os quais nem todos os avanços tecnológicos estão comercialmente disponíveis.

Pimenta e Martins (2021) destacam que a descarbonização e a melhoria do desempenho ambiental no setor de transporte e mobilidade serão alavancados pela utilização dos combustíveis alternativos como fontes de energia e substitutos aos fósseis de petróleo.

Segundo Sanchez *et al.* (2021) a indústria de biocombustível se desenvolve de forma diferente em cada país, dependendo do enfoque setorial, da acessibilidade das matérias-primas, das tendências do mercado e das iniciativas políticas. A compreensão das inúmeras vantagens do biocombustível exige uma formulação de políticas integradas nos transportes, energia, agricultura, gestão de resíduos e ambiente.

Neste contexto, apresentamos nos próximos tópicos, formas ou maneiras obter zero emissões líquidas tomando as publicações mais relevantes no cenário dos transportes marítimos e projetos no mercado de créditos de carbonos para as rotas ou caminhos a serem seguidos visando atingir a descarbonização, compensação ou neutralidade das emissões.

3.0 METODOLOGIA

Este artigo utilizou como metodologia um estudo exploratório, contendo dados secundários dos artigos publicados nas bases de dados Scopus, *Web of Science*, Scielo e Google Acadêmico com o propósito de atingir os objetivos apoiada na pesquisa bibliográfica, documental e análise das informações de tecnologias e tendências sobre os temas crédito de carbono, emissões líquidas de gases de efeito estufa e o transporte marítimo como fonte móvel de emissão no Brasil e no mundo entre o período de outubro a novembro de 2023.

De acordo com Knechtel (2014), a revisão de literatura é uma pesquisa que busca analisar as produções bibliográficas com foco em determinada área temática dentro de certo período, para elaboração de material ou relatório contendo uma visão do conteúdo ou em determinado tópico específico do tema que tenha recebido maior ou menor destaque na literatura selecionada.

Assim, para a realização das buscas nessas bases, definiu-se, de acordo com a pesquisa bibliográfica, a utilização das palavras-chave agrupadas por operadores booleanos “or” e “and” para evitar a soma duplicada dos resultados, ou palavras-chave individuais, quando não se encontravam resultados agrupados, como mostrado no Quadro 2.

<i>Palavras-chave (Português)</i>	<i>Palavras-chave (Inglês)</i>
Transporte marítimo	Maritime transport
Crédito de carbono	Carbon credit
Emissões líquidas	Net zero emissions
Transporte marítimo or crédito de carbono or emissões líquidas	Maritime transport or carbon credit or net zero emissions

Transporte marítimo and crédito de carbono and emissões líquidas	Maritime transport and carbon credit and net zero emissions
---	--

Quadro 2 – Estratégia de busca relacionadas as emissões x compensações no transporte.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Diante dos resultados obtidos foram selecionados 14 artigos acadêmicos com publicações relevantes, no corte temporal dos últimos 5 anos, considerando a conexão com o tema e as principais regiões de estudo como Europa, América do Norte, América do Sul, Ásia e Oceania. Também foram elencadas bibliografias secundárias de publicações em revistas e sites especializados oriundos de referências destes artigos.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas as mudanças comportamentais dos cidadãos e das empresas para reduzir as emissões de CO₂, limites do crescimento da demanda de energia que irão promover a transição para fontes de energias sustentáveis e com zero emissões líquidas (*Elshkaki e Shen, 2022*).

No contexto das embarcações marítimas, foram definidas metas para que a navegação marítima reduza a intensidade de carbono por carga útil transportada em pelo menos 40% até 2030, com continuados esforços para alcançar 70% até 2040, em comparação aos níveis observados em 2008, com o atingimento da neutralidade em carbono ou zero emissões líquidas, no máximo até 2050 (IMO, 2023).

Para Anika *et al.* (2022), conforme apresentado na Figura 2, a rotas promissora para alcançar o zero emissões líquidas envolve o emprego eficaz de tecnologias avançadas e eficientes na geração de electricidade, o rápido crescimento das energias renováveis e os combustíveis emergentes, especialmente a bioenergia, os combustíveis à base de hidrogênio verde (H2V) e o CCUS que desempenham um papel essencial em setores onde as emissões são frequentemente difíceis de reduzir.

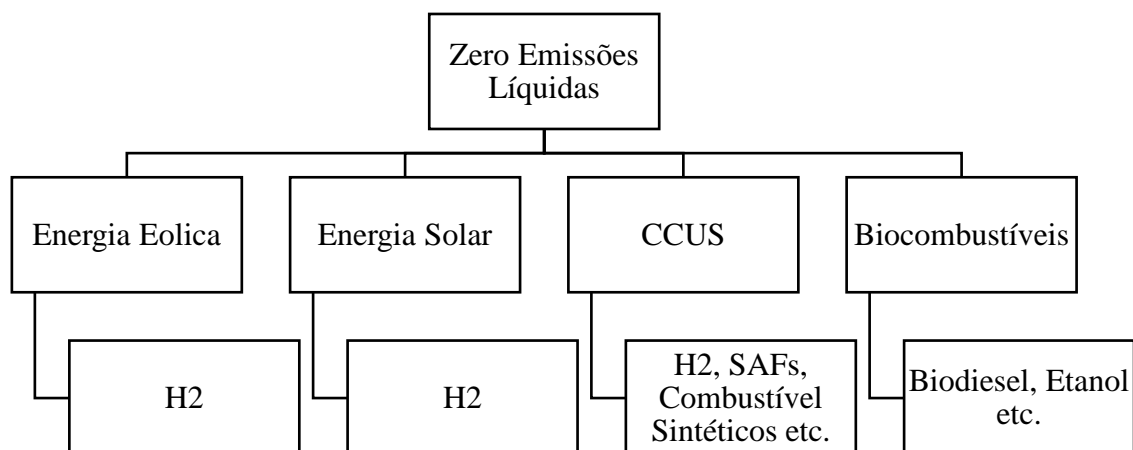


Figura 2: Rota para alcançar zero emissões líquidas 01.

Fonte: Adaptado de Anika et al. (2022).

Onde:

CCUS: Carbon Capture Usage and Storage

H2: Hidrogênio

SAF: Sustainable Aviation Fuel¹

Cesca *et al.* (2023) retratam que a redução das emissões nos transportes aéreos devem ocorrer pela utilização de biocombustíveis, melhorias operacionais e tecnologias das aeronaves. E a compensação por meio da aquisição do crédito de carbono. Reforçam que pesquisas comprovam que os biocombustíveis podem promover uma redução de 50 a 80% na emissão de carbono quando comparados com os fósseis (Figura 3). Segundo a ANP (2023) a mistura de biocombustível com combustível derivado do petróleo é permitido desde que se atenda as normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*).

¹ combustível produzido a partir de matérias-primas renováveis, como a biomassa ou energia elétrica renovável. O SAF pode reduzir as emissões de CO₂ entre 70% e 90%, em comparação com o querosene de aviação.

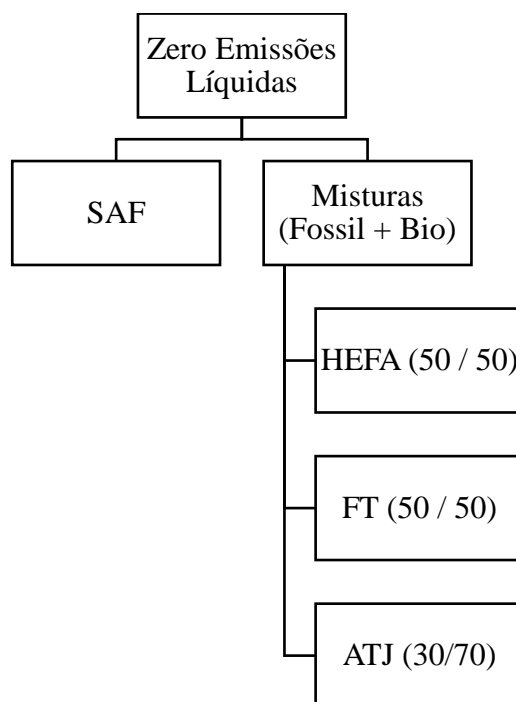


Figura 3: Rota para alcançar zero emissões líquidas 02.

Fonte: Adaptado de Cesca et al. (2023).

Onde:

SAF: Sustainable Aviation Fuel

HEFA: Hydrotreated Esters and Fatty Acids (HEFA)

FT: Fischer-Tropsch

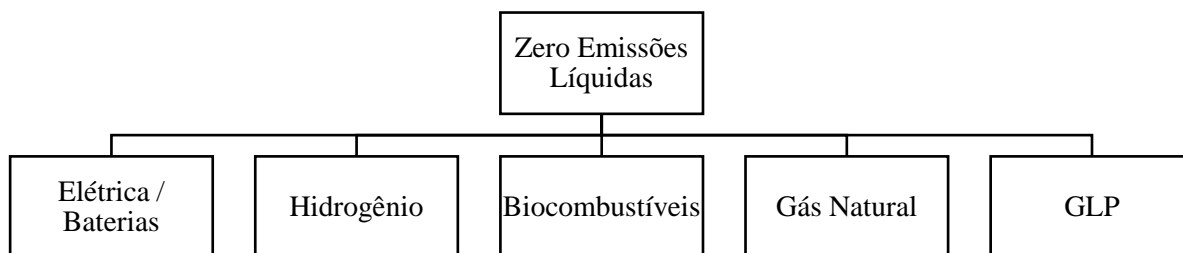
ATJ: Alcohol-to-Jet

Pimenta e Martins (2021) abordaram o tema de combustíveis marítimos alternativos com o objetivo de análise de viabilidade e relevância. Destacam em seu artigo que a eletricidade, o hidrogênio, os biocombustíveis, o gás natural e o gás de petróleo liquefeito (GLP) foram considerados como sendo atualmente os principais combustíveis alternativos com o potencial de substituir o petróleo (cadeias de alto teor de carbono) a longo prazo.

Existem investimentos crescente em sistemas navais híbridos visando minimizar o impacto ambiental e obter um desempenho mais eficiente e limpo com 20 a 30 % de redução de consumo de combustíveis (Sinaval, 2020). Pois, operações com duas ou mais fontes de energia, a embarcação híbrida consegue reduzir as emissões e otimizar o consumo de combustível.

Birol e Seko (2020), Pimenta e Martins (2021) salientam que o hidrogênio representa a solução para os desafios da transição energética, pois é capaz de armazenar a produção de energia de fontes renováveis como eólica e solar e descarbonizar setores complexos como de transportes e mobilidade.

A figura 4 indica as principais rotas propostas pelos autores Pimenta e Martins (2021) para fins de o uso de fontes alternativas de combustíveis, tendo em vistas cenários dos transportes marítimos.



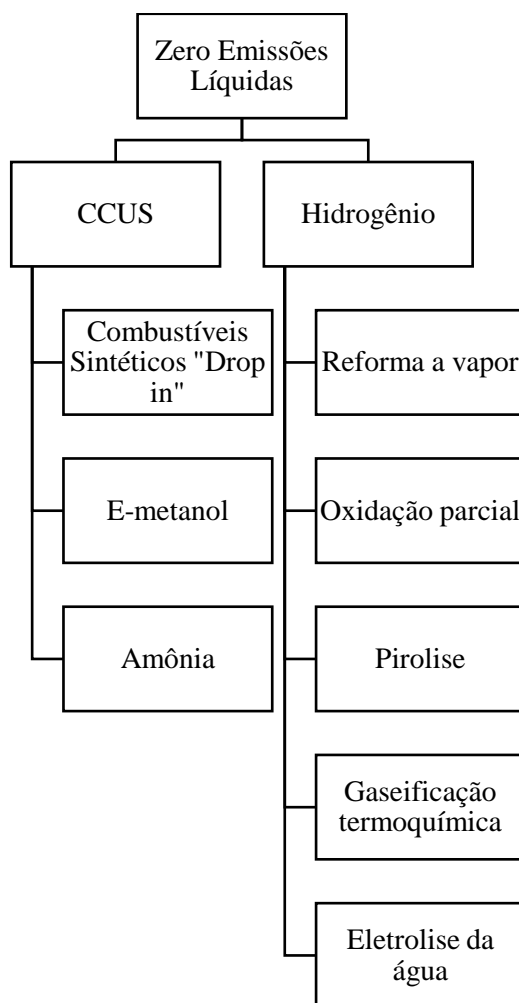
*Figura 4: Rota para alcançar zero emissões líquidas 03.
Fonte: Adaptado de Pimenta e Martins (2021).*

Onde:

GLP: Gás Liquefeito de Petróleo

Kouchaki-Penchah *et al.* (2023) defendem a necessidade de aumentar a penetração do hidrogênio como fonte de vapor industrial e a expansão da captura de carbono, utilização e armazenamento (CCUS) para que o CO₂ industrial disponível pudesse ser convertido em combustíveis sintéticos² e utilizados no transporte e mobilidades subsequente e processos industriais (Figura 5).

² É produzido a partir da combinação de gás de hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂) por meio de processos sem a utilização do petróleo.



*Figura 5: Rota para alcançar zero emissões líquidas 04.
Fonte: Adaptado de Kouchaki-Penchah et al. (2023).*

Onde:

Drop in: Composição e propriedades análogas aos combustíveis fósseis.

A aplicação do hidrogênio em 70 % das demandas industriais e de transporte, ao mesmo tempo que facilita a descarbonização destes setores, reduz a necessidade de remoção de carbono e custos de compensação das emissões de gases de efeito estufa, segundo Kouchaki-Penchah *et al.* (2023).

Desta forma, para atingir as metas de redução e mitigar os efeitos do aquecimento global, são apresentadas algumas rotas energéticas alternativas ao fóssil, conforme tabela 1, que deverão ser colocadas em prática e essas medidas inevitavelmente terão impactos em técnicas de construção de embarcações, propulsores e até de motores.

<i>Autores</i>	<i>Combustíveis alternativos</i>				
	Misturas fóssil + Biocombustível	Baixo carbono (GN, GLP)	Biodiesel e Etanol	Combustíveis sintéticos	H2V
Anika et al. 2022			X	X	X
Cesca et al. 2023	X			X	
Pimenta e Martins, 2021		X	X	X	X
Kouchaki-Penchah <i>et al.</i> 2023				X	X

Tabela 1: Combustíveis alternativos por autores / artigos.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

A própria tecnologia embarcada e um conjunto de novas medidas operacionais serão alteradas e novas normas e legislações devem ser consideradas, pois impacta tanto em custos quanto em investimentos para as empresas.

Assim como deverão ser desenvolvidas soluções de mercado, especialmente para a questão de infraestrutura de armazenamento dos combustíveis, biocombustíveis de baixo e de zero carbono, com uma logística adequada para eventual mistura diferenciada e abastecimento desses novos combustíveis. Isso trará certamente um grande desafio pelo tamanho da costa brasileira e rios navegáveis, na eventual adoção de postura similar para navegação interior, cabotagem e o apoio offshore para a indústria do petróleo.

5.0 CONCLUSÃO

O transporte marítimo sustentável é necessário para atingir as metas de redução de emissões, projetos de neutralizar as emissões são importantes e devem ser incentivados por programas do governo, empresas e pelas autoridades marítimas.

Este artigo teve por objetivo elencar as fontes alternativas de energia para a geração de potência em fontes móveis como embarcações marítimas, considerando as principais rotas de redução e compensação das emissões de gases poluentes pela queima de combustíveis fósseis.

Como aspectos positivos deste estudo destacamos as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa acima de 70% até 2040 e o alcance de zero emissões líquidas até 2050. Assim como, 75 % das rotas consideram o hidrogênio e 100% consideram os combustíveis sintéticos, como caminho para a descarbonização nos transportes e a aceleração no alcance de zero emissões líquidas.

Zero emissões líquidas (Net zero) podem ser alcançadas aumentando a eficiência energética através de tecnologias híbridas no suprimento energético, descarbonizando a geração através de combustíveis de baixo carbono, biocombustíveis ou sintético do tipo “*drop in*”, implantando tecnologias de emissões negativas como fontes renováveis como eólica e solar e aumentando a penetração na utilização do hidrogênio verde (H2V).

Por fim, diante das rotas abordadas nesta pesquisa bibliográfica pode-se destacar que a atuação na redução da emissão com projetos focados em combustíveis alternativos como o hidrogênio verde, biocombustíveis e combustíveis sintético são mais promissoras do que atuações em projetos de remediação / compensação dos gases emitidos.

6.0 REFERÊNCIAS

Anater, M.J.N.; Sanqueta, C.R.; Schiavo, B.N.V.; Corte, A.P.D., *Redução de gases de efeito estufa pelos projetos de crédito de carbono no setor energético brasileiro*. HOLOS, Ano 32, Vol. 1, DOI: 10.15628/holos. 2016.3669, 2016.

Anika, O. C.; Nabuife, S.G.; Bello, A.; Okoroafor, E.R.; Kuang, B.; Villa, R., *Prospects of low and zero-carbon renewable fuels in 1.5-degree net zero emission actualisation by 2050: A critical review*. Carbon Capture Science & Technology 5. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100072>, 2022.

ANP. (2023). *Relatório anual de produção de biocombustíveis e derivados no Brasil*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em: 30 de outubro de 2023.

Birol, Fatih; Seko, Hiroshige. International Agency Energy. **The Future of Hydrogen: Seizing today’s opportunities**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. Acesso em: 01 nov. 2023.

Cesca, J.; Mendonça, F.M.; Siqueira, P.H.L.; Campos, F.P.V., *A Redução de CO2 no Setor de Aviação Brasileiro*. Cadernos de Prospecção, Salvador, v. 16, n. 4, Edição Prospect, p. 1240-1255, 2023.

Elshkaki, A.; Shen, L., *Energy Transition towards Carbon Neutrality*. Energies, 15, 4967. <https://doi.org/10.3390/en15144967>, 2022.

Godoy, S. G. M. *Projetos de redução de emissões de gases do efeito estufa: desempenhos e custos de transação*. Revista de Administração, São Paulo, v. 48, n. 2, p. 301-326, 2013.

International Maritime Organization. IMO. **Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>. Acesso em: 09 nov. 2023.

IPCC. *Intergovernmental Panel Climate Change 2022: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em: 01 de novembro 2022.

Kempfer, J. C. *A tributação das operações com crédito de carbono*. Revista Eletrônica Direito e Política, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v.11, n.3, 2016.

Knechtel, M. R. *Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática-dialogada*. Curitiba: Intersaberes, 2014.

Kouchaki-Penchah, H.; Bahn, O.; Bashiri, H.; Bedard, S.; Bernier, E.; Elliot, T., *The role of hydrogen in a net-zero emission economy under alternative policy scenarios*. International Journal of Hydrogen Energy. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.07.196>, 2023.

Rogelj, J.; Geden, O.; Cowie, A.; Reisinger, A., *Three ways to improve net-zero emissions targets*. Nature. Volume 591. Páginas 365 a 368, 2021.

Sanchez, D.L.; Fingerman, K.; Herbert, C.; Uden, S., *Policy options for deep decarbonization and wood utilization in california's low carbon fuel standard*. Front. Clim. 3. doi: 10.3389/fclim.2021.665778, 2021.

Silveira, C. S.; Oliveira, L., *Análise do mercado de carbono no Brasil: histórico e desenvolvimento*. Novos Cadernos NAEA. v. 24, n. 3, p. 11-31, 2021.

Sinaval. 2020. **Transição para uma indústria naval de baixo carbono pode viver retrocesso**. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2020/10/transicao-para-uma-industria-naval-de-baixo-carbono-pode-viver-retrocesso/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

Sinaval. 2017. **Soluções híbridas de propulsão**. Disponível em: <http://sinaval.org.br/2017/02/solucoes-hibridas-de-propulsao/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

Pimenta, M. V.; Martins, M.M., **Combustíveis marítimos alternativos: relevância e viabilidade**. Revista de direito e negócios internacionais da maritime law academy. Vol. 1, nº 2, Julho a Dezembro - 2021. pp 32-53.

US EPA. 2008. United State Environmental Protection Agency. **Climate Leaders Greenhouse Gas Inventory Protocol Core Module Guidance: Direct Emissions from Mobile Combustion Sources**. Disponível em: <epa.gov/stateply/documents/resources/mobilesource_guidance.pdf>. Acessado em: 15 nov. 2023.

UNFCCC. **United Nations Framework Convention on Climate Change (2015), Clean Development Mechanism (CDM)**. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

VCS. **Verified Carbon Standard (2023)**. Disponível em <<http://www.v-c-s.org/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

Wu, S.; Miao, B.; Chan, S.H., **Feasibility assessment of a container ship applying ammonia cracker-integrated solid oxide fuel cell technology**. Carbon Capture Science & Technology 5. Elsevier. Energy doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.06.068, 2022.

ARTIGO CIENTÍFICO 3

FERRAMENTA DE *BUSINESS INTELLIGENCE* (BI) PARA SUPORTE A DECISÃO E MONETIZAR O IMPACTO AMBIENTAL EM EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

BUSINESS INTELLIGENCE (BI) TOOL FOR DECISION SUPPORT AND MONETIZATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Autores: Saulo Marelli Matos¹; Luiz de Pinedo Quinto Junior²; Luís Felipe Umbelino dos Santos³

1. Instituto Federal Fluminense. Imboassica, Macaé – RJ.
2. Instituto Federal Fluminense. Imboassica, Macaé – RJ.
3. Instituto Federal Fluminense. Imboassica, Macaé – RJ

Resumo

As mudanças climáticas têm influenciado, organizações privadas e governamentais, na adoção de iniciativas para a descarbonização, neutralização e compensação de seus impactos. As emissões de gases de efeito estufa é uma importante dimensão e pode contribuir para a melhoria do desempenho ambiental global, através da redução do consumo dos combustíveis de origem fósseis, aumento de eficiência e uso de combustíveis alternativos.

O setor de transporte é responsável por consideráveis emissões de gases de efeito estufa e apresentam inúmeros desafios envolvendo a gestão / monetização dos impactos e estimativas dos gases emitidos, no qual podemos utilizar os dados na geração de valor, informações precisas e estratégicas assertivas através sistemas de *business intelligence* para reduzir o tempo de análises, maximizar a geração de valor e suportar tomada de decisões.

Neste recorte, o objetivo deste artigo consiste em apresentar, por meio de pesquisa bibliográfica, os benefícios na utilização de ferramentas de *business intelligence* e os painéis (dashboard) em Power BI desenhados para estimar as quantidades de gás CO₂ equivalente emitidos, a neutralização dos gases emitidos e a compensação por créditos de carbono (Monetização) no âmbito das embarcações marítimas como fontes móveis emissoras.

Palavras-chave: Gases Efeito Estufa. Monetização Ambiental. Sistemas de Inteligência de Negócios.

Abstract

Climate change has encouraged private and government organizations to adopt initiatives for decarbonization, neutralization and / or compensation of their impacts. Greenhouse gas emissions are an important dimension and can contribute to better performance environmental, through the reduction of fossil fuel consumption, increased efficiency, and the use of alternative fuels.

The transportation sector is responsible for considerable greenhouse gas emissions and presents numerous challenges involving the management/valuation of impacts and estimates of gases emitted, in which we can use data to generate value, accurate and strategic information assertive through business intelligence systems to reduce analysis time, maximize value generation and support decision-making.

In this paper, the objective of this article is to present, through bibliographic research, the benefits of using business intelligence tools and Power BI dashboards designed to estimate the quantities of CO₂ equivalent gas emitted, the neutralization of gases emitted and the compensation for carbon credits (monetization) within the scope of maritime vessels as mobile emitting sources.

Keywords: *Greenhouse Gases. Environmental Valuation Methods. Business Intelligence Systems.*

1.0 Introdução

Os Gases do Efeito Estufa (GEE) são gases capazes de reter radiação que seria refletida pela terra, essa radiação absorvida aumenta a temperatura da Terra, contribuindo para o aquecimento global. O CO₂ é o principal GEE e sempre esteve presente na atmosfera terrestre, no entanto atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento contribuem para o aumento desses gases (IPCC, 2022).

Os setores de transportes e indústrias no Brasil são responsáveis por aproximadamente 65% do consumo de combustíveis fósseis e representaram 70% das emissões de gases do efeito estufa no ano de 2022, contribuindo consideravelmente para os impactos ambientais. Desta forma, devemos enfrentar grandes alterações climáticas envolvendo intensidades dos eventos como inundações, deslizamentos de encosta, elevação dos níveis do oceano e outros (ANP, 2023 e EPE, 2024).

Os acordos internacionais de mudanças climáticas, de forma generalista, estabelecem metas acerca do nível de emissão de GEE, os principais agentes do aquecimento global. E através das práticas de inventários de emissões e remoções antrópicas há a comunicação dos avanços ou retrocessos com os compromissos climáticos e contribuições de cada setor do país como energia, transporte, indústria, agropecuária e uso da terra e por fim, resíduos (MCTI, 2022).

As ferramentas de *business intelligence* do tipo Power BI, é um recurso de análise do negócio que possibilita melhorar a visualização dos dados, otimizar a análise, suportar a tomada de decisão e possibilitar a adoção de estratégias eficazes. Assim, quando aplicado a gestão de informações ambiental passam beneficiar as organizações com geração de valor (Rabelo, 2023).

Portanto, o objetivo principal deste trabalho consiste em apresentar a aplicação do sistema de *Business Intelligence* (Microsoft Power BI) para a elaboração de inventário considerando diferentes metodologias de estimativas e a monetização dos impactos ambientais possibilitando a neutralização por plantio de árvores e fixação do carbono ou a compensação por créditos de carbono por emissões evitadas em organizações nos diversos setores com escopo em emissões por fontes móveis.

2.0 Revisão de Literatura

A ferramenta *Power BI* desenvolvida pela Microsoft apresenta diversas funcionalidades ao usuário, devido a sua estrutura de implementação de soluções de *Business Intelligence* às diferentes modalidades de negócio, incluindo o universo dos dados ambientais. Para o gerenciamento adequado dos dados, usualmente são utilizados softwares que facilitam no processo de gestão e tomada de decisão, dentre os quais tem ganhado destaque (Neto, 2021).

Para Sharda (2019) a aplicação do Power BI no gerenciamento de dados ambientais possibilita incrementar o número de dados, melhorar a qualidade das informações, maximizar a produção de *insights* e conhecimentos, formulação de estratégias e suporte a tomada de decisões muito bem estruturadas e baseada em dados coletados, conforme Figura 1.



Figura 1: Hierarquia em inteligência de Negócios (*Business Intelligence*).

Fonte: Adaptado de Sharda (2023).

Segundo Spanholi *et al.* (2022) o princípio do valor econômico total estabelece que o valor de um recurso ambiental pode ser obtido pela soma dos bens e serviços por ele fornecidos, independentemente de seus benefícios e quando não há preços de mercado, são utilizadas técnicas conhecidas como valoração ambiental para monetizar os impactos negativos, preferencialmente, para fins de impedir a supressão deste “recurso ambiental”.

Para Costa *et al.* (2023) o cálculo da redução de gases de efeito estufa através da emissão evitada pode ser utilizada com base na aplicação das metodologias de estimativas em um dado período. Assim, a sustentabilidade no âmbito da preservação da qualidade do ar, tem se concretizada procurando formas de mitigar a poluição, através da redução das emissões de gases e o desenvolvimento de ações que promova a regulação das emissões por fontes móveis e industriais, assim contribuindo para redução do efeito estufa.

De acordo com Rabelo (2023) *apud* Brasil (2015), O governo brasileiro define as abordagens metodológicas para estimar e contabilizar as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) através dos cálculos com base nas diretrizes de 2006 do IPCC, considerando o potencial de aquecimento global no horizonte temporal de 100 anos (GWP-100) com base nos valores estipulados no quinto relatório de avaliação do IPCC (AR-5).

Silveira e Oliveira (2021) descrevem que os estudos sobre mercado de carbono florestal no Brasil foram relacionados a projetos do mecanismo de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal (REDD+), projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), geração de créditos de carbono pela biomassa e estoque de dióxido de carbono (CO₂), projetos de mercado voluntário, reduções certificadas de emissões (RCEs), armazenamento de carbono para o comércio de emissões e redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE).

De acordo com Nobre et al. (2019) e Silveira & Oliveira (2021) o mercado de carbono se estabelece de duas maneiras:

1. A primeira é a forma direta através do sequestro de dióxido de carbono pelo plantio de árvores em reflorestamentos que se estende por várias décadas e possui incertezas no clima, uso da terra, flutuações de preços de mercado e imprevisibilidade no rendimento.
2. E a segunda é a forma indireta utilizando os projetos certificados que vendem seus créditos no mercado, mas dependem do governo para fins de regulação e tornar seus projetos eficiências.

Os projetos REDD+ possuem o propósito de redução de emissões por desmatamento e degradação florestal e tem se colocado no papel central de incentivo econômico às medidas de mitigação no âmbito das mudanças climáticas. Possui distintas modalidades de financiamento, baseadas em fundos públicos ou no mercado voluntário de carbono e o conceito mais abrangente entende-se como um mecanismo de incentivo econômico ecológico por meio do pagamento de serviço ambiental (Salles *et al.* 2019).

3.0 Metodologia

Este artigo utilizou como metodologia um estudo descritivo quanto aos objetivos e na modalidade de estudo de caso quanto aos procedimentos associados a aplicação do software *power BI* na monetização das emissões de gases de efeito estufa para embarcações de apoio, contendo dados secundários dos artigos publicados nas bases de dados Scopus, Web of Science, Scielo e Google Acadêmico com o propósito de atingir os objetivos apoiada na pesquisa bibliográfica, documental e análise das informações de tecnologias e tendências sobre os temas *business intelligence*, metodologia para monetização do impacto ambiental e emissões de gases de efeito estufa no contexto de fontes móveis para transportes no Brasil e no mundo entre o período de abril a junho de 2024.

De acordo com Knechtel (2014), a revisão de literatura é uma pesquisa que busca analisar as produções bibliográficas com foco em determinada área temática dentro de certo período, para elaboração de material ou relatório contendo uma visão do conteúdo ou em determinado tópico específico do tema que tenha recebido maior ou menor destaque na literatura selecionada.

Assim, para a realização das buscas nessas bases, definiu-se, de acordo com a pesquisa bibliográfica, a utilização das palavras-chave agrupadas por operadores booleanos “or” e “and” para evitar a soma duplicada dos resultados, ou palavras-chave individuais, quando não se encontravam resultados agrupados.

Diante dos resultados obtidos foram selecionados 08 artigos acadêmicos com publicações relevantes, no corte temporal dos últimos 5 anos, considerando a conexão com o tema e as palavras chaves. Também foram elencadas bibliografias secundárias de publicações em revistas e sites especializados oriundos de referências destes artigos.

4.0 Resultados e Discussão

O cálculo da redução de gases de efeito estufa através da “emissão evitada” pode ser utilizada com base na aplicação das metodologias de estimativas em um determinado período. Desta forma, as medidas mitigadoras se configuram nas mesmas proporções ao carbono fixado em árvores plantadas de um determinado bioma. E no modo de créditos de carbono adquiridos em projetos de carbono certificados considerando 01 crédito de carbono igual a 01 tonelada de CO₂ equivalente emitido (artigo 1).

Portanto, os principais fatores de emissão por método de estimativa e as quantidades de dióxido de carbono equivalente por tipo de combustível foram desenvolvidos no painel dashboard 1, no software *power BI*, conforme Figura 2 abaixo.

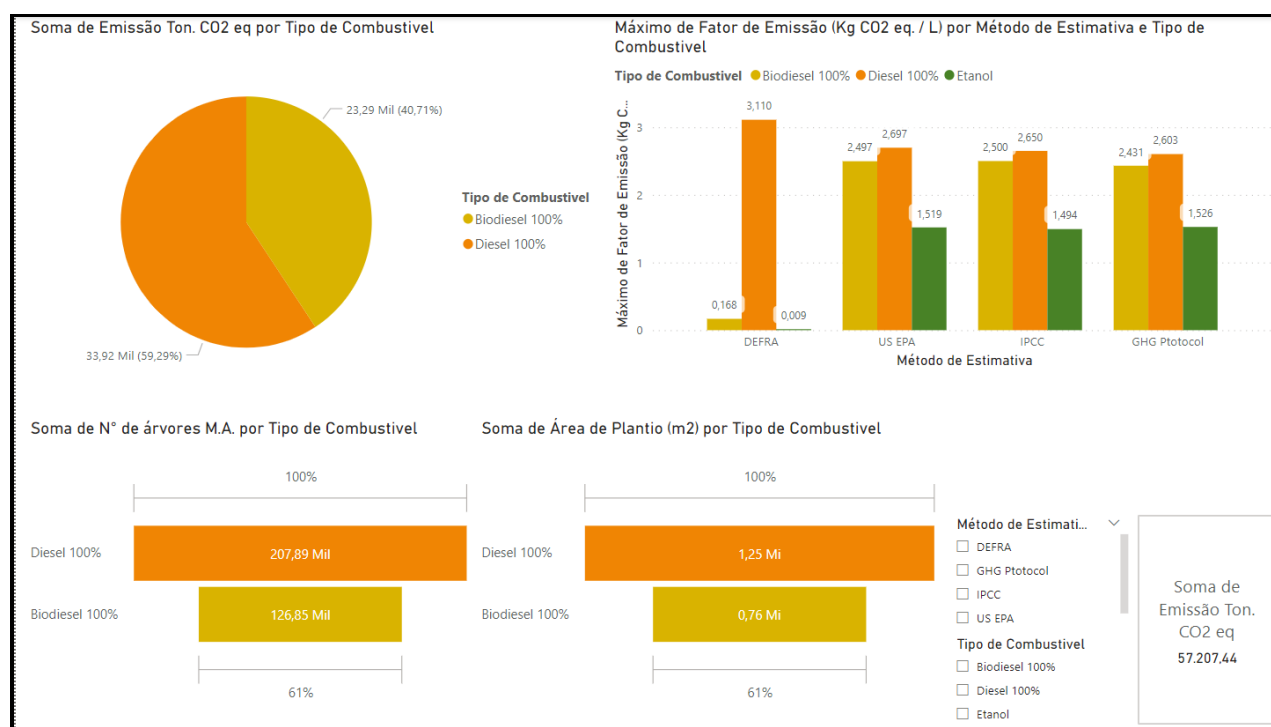


Figura 2: Dashboard 1 - fator de emissão por tipo de combustível e as emissões em Tons CO₂ eq.
Fonte: Elaborada pelos Autores.

No contexto das embarcações marítimas, foram definidas metas para que a navegação marítima reduza a intensidade de carbono por carga útil transportada em pelo menos 40% até 2030, com continuados esforços para alcançar 70% até 2040, em comparação aos níveis observados em 2008, com o atingimento da neutralidade em carbono ou zero emissões líquidas, no máximo até 2050 (IMO, 2023).

O painel dashboard 2 (Figura 3) apresentam os volumes de diesel combustível consumidos, os valores emitidos de dióxido de carbono (CO₂) em toneladas equivalentes direcionado para cada embarcação por ano e estimam a neutralização considerando o plantio por árvores no bioma de mata atlântica ou amazônico (artigo 1).



Figura 3: Dashboard 2 com volumes e quantidades de CO₂ emitidos Tons equivalentes.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

A seguir, na Figura 4 temos a aplicação na modalidade de pagamento por serviços ambientais mediante a utilização do mercado de carbono, o painel dashboard 3 contempla a monetização em real (R\$) dos valores de emissão em Tons CO₂ equivalente para cada embarcação por ano. Onde optamos pela forma de compensação em projetos de créditos de carbono certificados do tipo REDD+ denominados de redução de emissões de gases de efeito estufa provenientes do desmatamento e da degradação florestal (artigo 2).

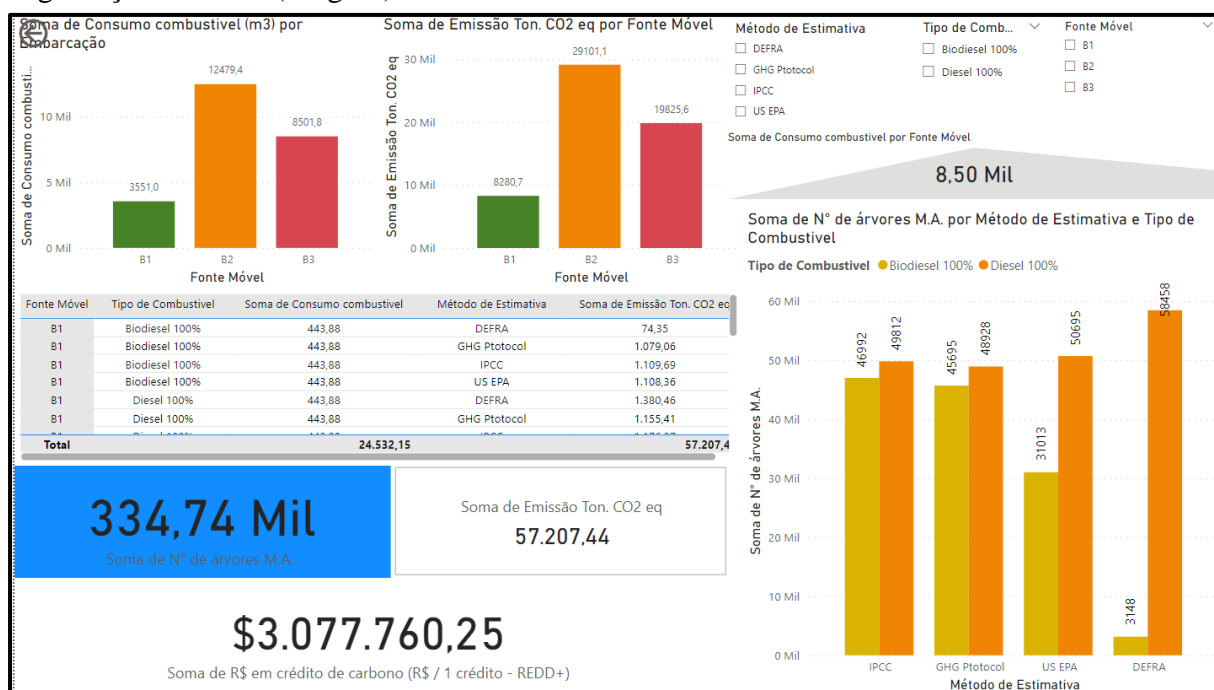


Figura 4: Dashboard 3 - monetização (R\$) das emissões em crédito de carbono.

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Os números obtidos demonstram que, anualmente e em cenário de apenas 03 embarcações de apoio offshore, temos emissões na ordem de 57.200 toneladas de CO₂ equivalentes na atmosfera e o número de árvores para neutralizar o impacto ambiental superam 334.000 unidades para fixar o carbono em um horizonte de 20 anos, ou aplicando a compensação por pagamento de serviços ambientais visualizamos valores calculados pelo sistema que superam R\$ 3 MM em créditos de carbono.

Estes números precisam ser abordados em projetos de investimentos futuros, contratações de frotas de transportes, aquisição de tecnologias e em estratégias para estimular fornecedores de serviços na finalidade de uma transição energética justa.

5.0 Conclusão

As organizações utilizam as tecnologias de *Business Intelligence* com ênfase na otimização dos negócios, mas tal solução não tem sido empregada com expressividade para fortalecimento da sustentabilidade ambiental.

Os principais desafios do estabelecimento do mercado de carbono estão nos riscos e incertezas dos projetos, principalmente em relação ao sequestro, estoque e contabilização do carbono nas florestas, além das questões de regulação do governo.

Este artigo teve por objetivo de apresentar a aplicação do sistema de *Business Intelligence* (Microsoft Power BI) na elaboração de inventário considerando diferentes metodologias de estimativas, a neutralização por plantio de árvores na fixação do carbono através do número de árvores e a quantidade de área plantada necessária.

Também foi factível demonstrar a monetização dos impactos ambientais na forma de incentivo econômico ambiental por pagamentos de serviços ambientais, através de projetos de créditos de carbono por emissões evitadas.

Por fim destacamos que as fontes alternativas de energia, principalmente renovável, aplicada em fontes móveis emissoras como embarcações marítimas, são os principais caminhos para a redução e compensação das emissões de gases poluentes pela queima de combustíveis fósseis.

6.0 Referências

- ANP. (2023). *Relatório anual de produção de biocombustíveis e derivados no Brasil*. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/>. Acesso em Jun/2024.
- Costa, D. M. D.; Pereira, A. D.; Resende, L. M. M., *A aplicação de Business Intelligence para o suporte da sustentabilidade ambiental no Brasil*. ConBRepro, Curitiba, UTFPR, v.01, p 1 - 9. Dez/23.
- Empresa de Pesquisa Energética. EPE. *Balanco Energético Nacional 2024: Ano base 2023*. Rio de Janeiro: EPE, 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em jun/2024.
- International Maritime Organization. IMO. **Greenhouse Gas Emissions**. Disponível em: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>. Acesso em Jun/2024..
- Knechtel, M. R. *Metodologia da pesquisa em educação: uma abordagem teórico-prática-dialogada*. Curitiba: Intersaberes, 2014.
- Ministério de Ciências Tecnologias e Inovação. MCTI. *Sexta Estimativas de Emissão de Gases do Efeito Estufa no Brasil*. [S.l.]: Pearson, 2022.
- Neto, L. G. C. **Oportunidade de Aplicações de Business Intelligence no Contexto da Indústria 4.0**. *Exacta Engenharia de Produção*, Piracicaba, v.1, n. 1, p.2, Mai./2021. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/19525/9135>. Acesso em Mai/2024.
- Nobre, C. A.; Marengo, J. A.; Soares, W. R. *Climate Change Risks in Brazil*. Geneve: Springer, Jan/2019. DOI:10.1007/978-3-319-92881-4.
- IPCC. *Intergovernmental Panel Climate Change 2022: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em Jun/2024.
- Rabelo, N.A.T., *Avaliação da participação do Setor de Energia Brasileiro nas Emissões de Gases do Efeito Estufa*. Dissertação de Mestrado. UNB. Brasília. 2023.
- Salles, G. P.; Salinas, D. T. P.; Paulino, S. R., *Execução de projetos de REDD+ no Brasil por meio de diferentes modalidades de financiamento*. *RESR*, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 445-464, 2019.<https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550302>
- Sharda, R. **Business Intelligence e Análise de Dados para Gestão de Negócio**. São Paulo: Bookman Editora, 2019.
- Silveira, C. S., Oliveira, L. *Análise do mercado de carbono no Brasil: histórico e desenvolvimento*. *Novos Cadernos NAEA*. v. 24, n. 3, p. 11-31, 2021.
- Spanholi, M. L.; Mendes, F. E.; Da Costa, L. A. N.; Fares, L.R.; Young, C. E. F.; *Benefícios ecossistêmicos e econômicos do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães*. *Confins*, ed. 54. 2022. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/44470>. Acesso em Jun/2024.

UNFCCC. *United Nations Framework Convention on Climate Change (2015), Clean Development Mechanism (CDM)*. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/>>. Acesso em Jun/2024.