

REALIDADES OPERACIONAIS VS. SUPOSIÇÕES ESTÁTICAS: REPENSANDO AS MÉTRICAS DE EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL PARA O GFI TARGET

 <https://doi.org/10.56238/arev6n4-289>

Data de submissão: 18/11/2024

Data de publicação: 18/12/2024

Luciana Maria da Silva Suman
Universidade Federal do Rio de Janeiro
E-mail: eng.lucianasuman@oceanica.ufrj.br

RESUMO

Este estudo examina a eficiência operacional e as emissões de gases de efeito estufa (GHG) de embarcações de apoio marítimo, comparando os mecanismos de validação Proxy A e Energy Operational Index (EOI) no contexto do Indicador de Intensidade do GHG do combustível (GFI). Os resultados indicam que o EOI supera o Proxy A em precisão, ao integrar dados operacionais dinâmicos, como cargas dos motores em diferentes modos, e corrigir discrepâncias no consumo de combustível reportado. Em um estudo de caso de uma embarcação operando em águas tropicais brasileiras, baixas cargas nos motores durante o modo de Posicionamento Dinâmico (19%) evidenciaram ineficiências, enquanto cargas mais altas no modo Navegação (68,66%) demonstraram um desempenho aprimorado. As conclusões ressaltam o valor do EOI em garantir dados confiáveis sobre emissões e seu papel estratégico no apoio a práticas sustentáveis e a metas realistas de descarbonização para a indústria marítima.

Palavras-chave: Eficiência de Combustível. Métricas Operacionais. GFI Target. Análise Estática e Dinâmica.

1 INTRODUÇÃO

A crescente preocupação global com as mudanças climáticas e seus impactos ambientais direciona a atenção para a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GHG) em todos os setores da economia, incluindo o transporte marítimo. A Organização Marítima Internacional (IMO) tem estabelecido regulamentos com o objetivo de promover a eficiência energética e a redução das emissões na indústria naval, alinhando o setor às metas globais de sustentabilidade e proteção ambiental. [5,8,9]

As embarcações de apoio marítimo, classificadas pela IMO como embarcações offshore, desempenham um papel crucial no cenário marítimo global. Representando 6,3% da frota mundial, conforme o quarto estudo da IMO, e com mais de 7.555 unidades em operação, essas embarcações são essenciais para a cadeia de suprimentos e logística offshore. Segundo a IMCA, essa categoria inclui mais de 45 tipos distintos de embarcações, o que ressalta sua diversidade operacional. Apesar da importância estratégica, a avaliação da eficiência energética dessas embarcações permanece subdesenvolvida, uma vez que indicadores como o Índice de Projeto de Eficiência Energética (EEDI) e o Índice de Eficiência Energética para Navios Existentes (EEXI) excluem tradicionalmente as operações offshore.

A Resolução MEPC 391(81), adotada em 2024, introduziu as Diretrizes de 2024 sobre a Intensidade de GEE ao Longo do Ciclo de Vida dos Combustíveis Marítimos (2024 LCA Guidelines), marcando um avanço na regulamentação da eficiência energética. Essa resolução propõe monitorar continuamente as emissões das embarcações, comparando-as a curvas de desempenho em desenvolvimento. As embarcações que não cumprirem os padrões estabelecidos poderão enfrentar penalidades financeiras, o que reforça a urgência de abordar a eficiência energética das embarcações offshore de forma robusta e direcionada. [11,12,13]

Recentemente, o Indicador de Intensidade de GHG do Combustível (GFI, GHG Fuel Indicator), parte do escopo da Resolução de Padronização de Gases de Efeito Estufa dos Combustíveis (GFS - GHG Fuel Standard), expandiu sua aplicação para incluir as embarcações offshore. Reconhecendo as peculiaridades dessas operações, que frequentemente envolvem o uso intensivo de sistemas de Posicionamento Dinâmico (DP), o Brasil submeteu à 17ª Interseção da IMO sobre GHG a proposta do Indicador de Eficiência Offshore (EOI, Efficiency Offshore Indicator). Este mecanismo de validação voluntário foi projetado para complementar o GFI, integrando dados de modos operacionais específicos das embarcações offshore.

Diante desse contexto, surge a necessidade de uma análise comparativa entre diferentes indicadores de eficiência energética, com foco nas particularidades das embarcações offshore. Este

estudo busca investigar a aplicabilidade do EOI como um mecanismo de validação, destacando sua capacidade de preencher lacunas deixadas pelos métodos tradicionais. A proposta considera as condições operacionais singulares dessas embarcações e examina como o EOI pode contribuir para um entendimento mais realista e adaptado à complexidade das operações offshore.

2 OBJETIVO E CONTRIBUIÇÕES

O objetivo deste trabalho é analisar comparativamente os indicadores Proxy A e EOI, avaliando sua eficácia na validação de dados de consumo de combustível e eficiência operacional em embarcações offshore. O estudo utiliza como base uma embarcação offshore típica operando em águas brasileiras, com arqueação de 3.000 a 4.000 AB, faixa predominante no setor offshore nacional. A análise inclui cálculos detalhados de eficiência energética, cargas médias dos motores e emissões específicas, considerando diferentes modos operacionais, como DP e navegação.

Este trabalho também aborda a lacuna na literatura referente à análise de indicadores em embarcações offshore, que frequentemente ficam à margem dos regulamentos globais. Por meio da revisão de práticas atuais e da introdução de novas abordagens, este estudo contribui para a evolução do setor marítimo rumo a um futuro mais sustentável, alinhando-se aos esforços globais de descarbonização e às metas climáticas da IMO.

3 CONTEXTO HISTÓRICO E NORMATIVO

A evolução dos regulamentos da Organização Marítima Internacional (IMO) tem almejado práticas que buscam não apenas aumentar a segurança nas operações marítimas, mas também reduzir o impacto ambiental do setor. Desde a implementação do Anexo VI da Convenção MARPOL, que estabelece limites para as emissões de gases poluentes provenientes de embarcações, a IMO tem se dedicado a refinar e expandir suas diretrizes para incluir novos indicadores e métodos de cálculo da eficiência energética das embarcações.[1,2,3,4,5]

Para embarcações de apoio marítimo, que desempenham um papel vital em operações offshore, a aplicação das normas da IMO apresenta desafios únicos. Essas embarcações, muitas vezes equipadas com propulsão diesel-elétrica e sistemas de posicionamento dinâmico (DP), têm perfis operacionais distintos em comparação com navios com cabotagem e longo curso. A eficiência energética, tradicionalmente calculada pela relação entre consumo de combustível e distância navegada combinada com a capacidade de carga, não se aplica diretamente a embarcações cuja principal contribuição ocorre quando estão sob DP, mantendo a posição “estática” em operações críticas.[6,7,8]

Reconhecendo essa diferença, a IMCA (International Marine Contractors Association), começou a desenvolver indicadores específicos para embarcações de apoio marítimo. Em 2019, no documento MEPC 74/6, foram propostos dois indicadores específicos: Proxy A e Proxy B.[6,7]

Proxy A baseia-se no consumo anual de energia da embarcação, adotando uma abordagem mais conservadora e linear ao longo do tempo. Esse indicador no estudo “Eficiência Energética: O que o setor de apoio marítimo tem a ver com isso?” onde foi calculado o perfil Brasil frente aos proxies A e B, mostrou o proxy A que tende a variações menores ao longo dos anos, refletindo uma estratégia de eficiência mais estável. Em contraste, Proxy A, conforme observado na fórmula 2 considera o tempo que o motor ficou em funcionamento considerando que esse funcionamento ocorre sempre com o motor na “potência nominal contínua máxima” (Maximum Continuous Rated Power Output, em inglês). MCR é a potência máxima que um motor diesel marítimo pode fornecer de forma contínua sem sofrer danos ou desgaste excessivo. Essa potência é determinada pelo fabricante, sendo considerada segura para a operação contínua do motor em condições normais. Em outras palavras, é a capacidade máxima de energia que o motor pode gerar sem comprometer sua integridade ou vida útil.[6,7]

O GFI (GHG Fuel Indicator), representado pela fórmula 3, advém da resolução da IMO Guidelines On Life Cycle GHG Intensity Of Marine Fuels. Essa resolução ficou conhecida como o Guia do Ciclo de Vida (LCA Guidelines) e mede a intensidade das emissões associada ao consumo de combustível, proporcionando uma métrica direta da contribuição das embarcações para as emissões de gases de efeito estufa. [1,2,4]

Além desses proxies, foi desenvolvido pelo Brasil o EOI (Energy Operational Index) representado pela fórmula 2, o qual foi submetido a IMO dia 09/08/2024 e em breve estará disponível para acesso através do IMO Docs (sistema oficial da IMO para acesso a documentos). O objetivo do EOI é ser um mecanismo de validação de adoção voluntária que considera não apenas o consumo de combustível, mas também as variações da energia utilizada durante as operações e através da sinergia com o GFI pode se tornar um mecanismo de validação de análise por meio de análise comparativa para validação dos parâmetros de consumo utilizados no GFI.[10]

A aplicação de indicadores para embarcações de apoio marítimo, conforme descrito no MEPC 304, faz parte das medidas de curto prazo priorizadas pela IMO para melhorar a eficiência energética e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, uma das maiores dificuldades enfrentadas pela IMO é definir o que constitui eficiência energética para embarcações com propulsão não convencional, como as de propulsão diesel-elétrica, predominantes entre os navios de posicionamento dinâmico.[8]

Ao analisar o impacto das normas da IMO sobre a eficiência energética dessas embarcações, torna-se evidente que o modelo matemático tradicional, baseado em deslocamento e capacidade de carga, precisa ser adaptado para refletir as realidades operacionais das embarcações de apoio marítimo. O desenvolvimento de proxies específicos, como Proxy A e Proxy A, juntamente com o uso do GFI e do EOI, representa um avanço significativo nessa direção, oferecendo parâmetros mais adequados para medir e melhorar o desempenho energético dessas embarcações em um contexto operacional complexo e dinâmico.

4 FÓRMULAS DE CÁLCULO DOS INDICADORES

Importante destacar que todos os indicadores abordados neste estudo estão alinhados com a estratégia europeia, centrando-se na relação entre as emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) e a energia consumida pela embarcação. A principal diferença entre os indicadores reside em suas abordagens: o EOI utiliza as potências reais em cada modo de operação, proporcionando uma avaliação mais precisa e adaptada às condições reais. O Proxy A, por outro lado, baseia-se na potência MCR (Maximum Continuous Rating), um valor fixo e conservador que, embora seguro, não reflete a realidade operacional, pois a embarcação não opera 100% do tempo nessa potência máxima. Já o GFI (GHG Fuel Indicator) considera apenas o consumo de combustível, desconsiderando diretamente a potência utilizada, abordando-a de maneira indireta por meio do fator consumo.

1. EOI (Indicador de Eficiência Operacional): O EOI é um mecanismo de validação e tem o objetivo de medir a eficiência operacional real do navio, considerando as variações de potência nos diferentes modos de operação. Esta abordagem dinâmica apresenta resultados mais precisos e efetivos da eficiência energética decorrente dos diversos modos de operações diárias de um navio. O conceito da expressão EOI é semelhante ao GFI e derivado do Proxy A.

O seu cálculo vem da fórmula:

$$\frac{\text{Consumo em g de combustível} \times \text{fator de carbono}}{\sum \text{Potência média real correspondente a cada modo de operação} \times \text{horas, correspondente a cada modo de operação}} \quad (1)$$

Σ Potência média real correspondente a cada modo de operação x horas, correspondente a cada modo de operação.

Esta fórmula considera as peculiaridades dos modos de operação, oferecendo uma avaliação detalhada e realista da eficiência energética do navio e das emissões delas decorrentes. Os modos de operação selecionados são operando em dp, fundeado, bordejando, navegando, atracado.

2. Proxy A (Indicador de Eficiência de Design): Proxy A, conforme definido pela Associação Internacional de Contratantes Marítimos (IMCA), é um indicador que avalia a eficiência energética com base nos parâmetros de design do navio. Esta abordagem é baseada na potência nominal dos motores e seu cálculo sobre o consumo real de combustível, resultando em uma visão estática da eficiência energética.

$$\frac{\text{Consumo em g de combustível} \times \text{fator de carbono}}{\Sigma \text{Potência no MCR de cada motor} \times \text{horas.}} \quad (2)$$

Proxy A apresenta uma curva de comportamento exponencial, com variações mais acentuadas ao longo dos anos.

Este indicador oferece uma visão ampla da eficiência energética, considerando a totalidade das operações da embarcação ao longo de um ano. Diferentemente do EOI, que avalia a eficiência em um nível operacional, o Proxy A fornece uma perspectiva mais global e menos detalhada das operações anuais do navio.

3. GHG Fuel Indicator (GFI): Mede a intensidade das emissões associada ao consumo de combustível (g CO₂e/MJ).

$$\frac{\text{Consumo em g de combustível} \times \text{fator de carbono}}{\text{Unidade de energia usada a bordo.}} \quad (3)$$

O GFI fornece uma métrica direta da contribuição das embarcações para as emissões de gases de efeito estufa.

Apesar das diferenças nas fórmulas e as abordagens na medição de eficiência energética, utilizada pelos indicadores, Proxy A, EOI e GFI compartilham várias semelhanças:

1. Foco no Consumo de Combustível: Todos os indicadores utilizam o consumo de combustível como uma variável central. Eles quantificam o combustível consumido;
2. Incorporação do Fator de Carbono: Todas as fórmulas incluem o fator de carbono, que converte o consumo de combustível em emissões de CO₂eq. Este fator é crucial para que se possa depreender o impacto ambiental do consumo de combustível por unidade de energia;
3. Medição da Potência: Tanto o Proxy A quanto o EOI utilizam a potência dos motores como uma variável-chave. O Proxy A considera a potência nominal dos motores (MCR),

enquanto o EOI utiliza a potência média real nos diferentes modos de operação

4. Consideração do Tempo: Ambas as fórmulas Proxy A e EOI integram o fator tempo. No Proxy A, o tempo é refletido nas horas de operação do motor. No EOI, o tempo é considerado para cada modo específico de operação.

5 ASPECTOS RELATIVOS AOS MODOS DE OPERAÇÃO

Considerar os modos de operação é vital para que a avaliação da eficiência energética seja verificada no contexto da segurança operacional de embarcações marítimas. Cada modo de operação, como, por exemplo, atracado, fundeado, bordejando, sob DP (Dynamic Positioning), ou navegando, possui exigências específicas que afetam diretamente o consumo de combustível e as consequentes emissões de GEE.

Importante destacar que estes modos de operação citados no parágrafo 9 estão fora do nível decisório dos comandantes das embarcações, bem como das empresas às quais elas pertencem, por atender a contratos de serviços.

5.1 MODOS DE OPERAÇÃO E LAYOUTS PRÉ-DEFINIDOS

As embarcações geralmente possuem layouts pré-definidos para cada modo de operação, dos quais faz parte a condição da praça de máquinas. Esses layouts contemplam diversos fatores, que vão desde a quantidade de motores em linha à potência disponível para cada modo de operação, até a adição de mais motorização para suprir necessidades energéticas adicionais. Essas demandas podem ser necessárias quando algum equipamento específico está em uso ou quando as condições ambientais ofereçam fragilidade à operação.

Por exemplo: durante as operações em modo DP, onde a precisão de posicionamento é crucial, a demanda energética é significativamente maior. Para garantir que a embarcação permaneça estável, pode ser necessário utilizar mais motores ou aumentar a potência disponível nos que se encontram em operação. Esses ajustes garantem uma operação segura e eficiente, minimizando os riscos decorrentes de falhas e otimizando o consumo de combustível.

5.2 MODOS DE OPERAÇÃO NO CÁLCULO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Os consumos decorrentes dos modos de operação podem compor o cálculo da eficiência energética ao considerar o consumo médio real de cada situação, ao invés do MCR (Maximum Continuous Rating) utilizado no Proxy A. O EOI proporciona um cômputo mais realista de consumo de combustível, refletindo as condições operacionais reais do navio, em vez de um adotar um

consumo fixo sob certa potência como o empregado no cálculo dos indicadores EEDI (Energy Efficiency Design Index) e EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index).

6 OBJETIVO DO ESTUDO

O objetivo deste estudo é analisar e comparar a eficiência energética e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) de embarcações de apoio marítimo através do estudo de caso de 2 navios ativos no apoio marítimo, utilizando três diferentes indicadores: o Energy Operational Index (EOI), o Proxy A, e o GHG Fuel Indicator (GFI). Este estudo visa compreender como cada indicador reflete a realidade operacional das embarcações offshore, considerando as potências reais utilizadas em diferentes modos de operação, o impacto da potência nominal contínua máxima (MCR) e o consumo de combustível.

Além disso, o estudo visa validar a aplicabilidade do EOI, como uma métrica mais precisa e adaptada às condições operacionais reais das embarcações de apoio marítimo, especialmente no contexto da proposta brasileira à Organização Marítima Internacional (IMO). Ao comparar os resultados obtidos com os indicadores estabelecidos, pretende-se demonstrar a eficácia do EOI em oferecer uma avaliação mais detalhada da eficiência energética e do impacto ambiental das embarcações.

7 METODOLOGIA

Para avaliar a eficiência operacional e a efetividade do Energy Operational Index (EOI) como mecanismo de validação, foi realizada uma análise detalhada dos dados operacionais e de consumo de combustível de uma embarcação tipo PSV (Platform Supply Vessel). Os dados analisados foram reportados à bandeira por meio do Data Collection System (DCS) e complementados com uma triangulação de informações a partir de diferentes fontes, incluindo estimativas baseadas no Bunker Delivery Note (BDN), medições por oleômetros e cálculos baseados no trabalho efetivo dos motores.

7.1 CASO DE ESTUDO - ANALISE DA EFICIENCIA OPERACIONAL DE UMA EMBARCAÇÃO OFFSHORE

Este estudo de caso examina uma embarcação de apoio marítimo (PSV - Platform Supply Vessel) operando no setor offshore. A análise tem como foco a avaliação da eficiência operacional e a efetividade do mecanismo de validação Energy Operational Index (EOI) na validação de dados de consumo de combustível, utilizados para o desenvolvimento do GHG Fuel Indicator (GFI) target. A embarcação em estudo representa um exemplo típico de operação offshore, com dados reportados e

coletados a partir de diversas fontes, proporcionando uma visão abrangente sobre as práticas de consumo energético e as variáveis envolvidas na análise de eficiência energética.

7.2 CARACTERÍSTICAS DA EMBARCAÇÃO

A embarcação em questão é classificada como um PSV, utilizada principalmente para suporte logístico às plataformas de petróleo. Este tipo de embarcação é considerado predominante no setor offshore brasileiro, de acordo com os relatórios da Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo (ABEAM), tanto pelo tipo quanto pela arqueação bruta, sendo amplamente empregada em operações de apoio. As especificações técnicas incluem:

- Tipo de embarcação: PSV (Platform Supply Vessel)
- Classe de DP: 2 (Dynamic Positioning Classe 2)
- Arqueação Bruta: 3.933
- DWT (Deadweight Tonnage): 4.700

Estas características são de uma embarcação típica de apoio marítimo, operando em ambientes desafiadores que requerem alta eficiência energética e precisão nas manobras, especialmente em operações de posicionamento dinâmico (DP).

7.3 DADOS OPERACIONAIS E TÉCNICOS

Para a análise, foram coletados dados detalhados dos motores principais da embarcação, que desempenham um papel crítico em sua eficiência operacional. A embarcação é equipada com quatro motores do tipo Diesel 4T, da marca Caterpillar, modelo 3512. As principais especificações dos motores incluem:

- Potência Nominal: 1.630 kW por motor
- Consumo Específico de Projeto: 200 g/kWh
- Tipo de Combustível Principal: MGO (Marine Gas Oil)

Adicionalmente, os dados operacionais de cada motor foram obtidos em relação aos modos de operação mais comuns, incluindo operações em DP, navegação, bordejando, fundeio e operações em porto. As métricas coletadas abrangem:

- Potência Média Anual e Específica por Modo de Operação: Consumo de energia em cada modo, em kWh.
- Horas de Funcionamento por Modo de Operação: Média anual de horas em funcionamento, incluindo dados específicos para DP, navegação, bordejando, fundeio e porto.

- Horímetro Total: Registra o tempo total de operação acumulado por cada motor.

A coleta de dados incluiu fontes de autodeclaração de consumo de combustível, como oleômetros instalados na embarcação e informações complementares do Bunker Delivery Note (BDN). Apesar da utilidade dessas fontes, ressalta-se que limitações na precisão do controle de consumo por motor podem gerar discrepâncias, enfatizando a importância de mecanismos robustos de validação, como o EOI.

8 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

A análise desta embarcação offshore, representativa do segmento de apoio marítimo no Brasil, reveste-se de importância estratégica para a compreensão dos desafios operacionais enfrentados por PSVs (Platform Supply Vessels). Estas embarcações, predominantes no setor offshore brasileiro, desempenham um papel crucial em operações de suporte logístico, principalmente em cenários que demandam alta eficiência energética e precisão, como no posicionamento dinâmico (DP). A crescente pressão regulatória e ambiental imposta pela Organização Marítima Internacional (IMO) exige que armadores e operadores naveguem por um cenário complexo de indicadores de eficiência energética e gestão de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Nesse contexto, a necessidade de dados confiáveis torna-se essencial para a tomada de decisões técnicas e políticas.

9 PERGUNTA CENTRAL

Este estudo busca responder à seguinte questão fundamental: “O Energy Operational Index (EOI) é mais eficaz e preciso como mecanismo de validação de dados de consumo de combustível para embarcações de apoio marítimo, em comparação ao Proxy A, e como ele pode contribuir para o desenvolvimento do GHG Fuel Indicator (GFI) target proposto pela IMO?”

9.1 HIPÓTESES DE RESPOSTA

Com base nos dados coletados, na literatura técnica e nos relatórios setoriais, formulam-se as seguintes hipóteses para serem analisadas:

Hipótese 1: O EOI é mais eficaz do que o Proxy A porque considera variações de potência em diferentes modos operacionais, oferecendo uma avaliação mais dinâmica e alinhada às condições reais de operação das embarcações de apoio marítimo.

Hipótese 2: O Proxy A, apesar de amplamente utilizado, apresenta limitações por sua abordagem estática baseada no MCR (Maximum Continuous Rating) dos motores, o que

o torna menos representativo para embarcações offshore que operam em múltiplos modos de energia e manobra.

Hipótese 3: Os métodos tradicionais de estimativa de consumo, como o Bunker Delivery Note (BDN), são insuficientes para mensurar com precisão o consumo real de combustível, devido à ausência de controle específico por motor e à dificuldade de distinguir o combustível efetivamente queimado do total embarcado.

Hipótese 4: A adoção do EOI como mecanismo de validação é particularmente vantajosa para embarcações que não possuem indicadores como o EEDI (Energy Efficiency Design Index) ou EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index), especialmente no setor de apoio marítimo, onde predominam embarcações com alto dinamismo operacional.

10 RELEVÂNCIA ESTRATÉGICA E ACADÊMICA

Este estudo é relevante não apenas pela análise técnica do EOI e do Proxy A, mas também por sua aplicação prática em um setor crítico como o offshore brasileiro. Ele aborda a lacuna existente nos métodos de validação de dados de consumo para embarcações sem indicadores de design (EEDI) ou existentes (EEXI). A confiabilidade dos dados de consumo de combustível é essencial para a definição de metas realistas no GFI target, e a precisão nos mecanismos de validação impacta diretamente os esforços globais de descarbonização marítima.

Ademais, ao investigar o EOI como ferramenta de validação, este trabalho contribui para o desenvolvimento de políticas e práticas mais eficazes, fortalecendo o papel do Brasil nas discussões internacionais sobre eficiência energética e sustentabilidade no transporte marítimo. Por fim, ao explorar as limitações do Proxy A e de métricas tradicionais como o BDN, o estudo promove uma reflexão crítica sobre os desafios e as oportunidades para o aprimoramento da gestão energética no setor.

11 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

11.1 ESTRATÉGIA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados deste estudo baseou-se em informações fornecidas voluntariamente pelo armador, por meio da Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo (ABEAM). Os dados analisados correspondem a uma embarcação real, operando em águas brasileiras, caracterizadas por um ambiente tropical com desafios específicos para eficiência energética. Por razões de confidencialidade, o nome da embarcação não foi revelado. Contudo, suas operações refletem as condições típicas enfrentadas por PSVs no setor offshore nacional.

11.2 TRIANGULAÇÃO DE DADOS

Para garantir a precisão das análises, foi realizada uma triangulação de dados utilizando informações sobre:

- Potência Média Anual dos Motores em Cada Modo de Operação: Dados sobre a potência média dos motores foram obtidos e analisados para os principais modos de operação: DP (Dynamic Positioning), navegação, bordejando, fundeio e operações em porto. Essa métrica foi essencial para calcular o consumo energético real associado a cada modo.
- Consumo Específico dos Motores: O consumo específico de projeto dos motores, medido em g/kWh, foi utilizado como base para determinar a quantidade de combustível efetivamente consumida.
- Quantidade de Horas Operacionais: As horas anuais de funcionamento em cada modo de operação foram fornecidas, permitindo um cálculo detalhado do consumo de combustível e da eficiência em cenários específicos.

A triangulação de dados com a característica operacional da motorização da embarcação trouxe maior acurácia às análises, permitindo uma avaliação mais robusta e confiável da eficiência operacional e da efetividade do EOI como mecanismo de validação.

11.3 DADOS TÉCNICOS DA EMBARCAÇÃO

A embarcação analisada neste estudo é um Platform Supply Vessel (PSV), cuja propulsão é totalmente elétrica, utilizando propulsores azimutais em vez de lemes convencionais. Este tipo de configuração é amplamente empregado em embarcações de apoio marítimo, especialmente naquelas projetadas para alta manobrabilidade e precisão em operações offshore.

Os dados gerais da embarcação analisada, incluindo características principais, configurações de propulsão e operações em diferentes modos, estão apresentados na Tabela 1: Especificações Técnicas e Operacionais da Embarcação PSV. Essa tabela contextualiza a embarcação como uma unidade representativa do setor offshore brasileiro.

Tabela 1: Especificações Técnicas e Operacionais da Embarcação PSV

Propriedade	Valor
Tipo de Embarcação	PSV
Propriedade	Valor
Classe de DP	2

Arqueação Bruta	3933
DWT	4700
Propulsão	Elétrica
Configuração de Barramento	Aberto (DP), Fechado (demais modos)
Tensão Nominal	6600V
Operação em DP	Carga nos motores de 10% a 40%

Fonte: Autor

A tabela fornece um panorama inicial das características da embarcação, servindo como base para a compreensão dos dados operacionais e técnicos apresentados a seguir.

11.4 CLASSE DE DP E OPERAÇÃO EM DP

A embarcação é classificada como Classe 2, conforme estabelecido pela Resolução MSC/Circ.645 da Organização Marítima Internacional (IMO) e complementada pela Resolução IMO 1580. Essas resoluções definem os critérios técnicos e de segurança para sistemas de Posicionamento Dinâmico (DP), categorizando as embarcações de acordo com seus níveis de redundância:

- Classe 1: Sistema com requisitos mínimos de redundância, adequado para operações menos críticas.
- Classe 2: Sistema com redundância suficiente para suportar a falha de qualquer componente ativo sem comprometer a operação. É apropriado para operações onde a perda de posição pode causar sérios danos ao meio ambiente ou equipamentos.
- Classe 3: Sistema com redundância completa, incluindo compartmentalização e proteção contra fogo e enchentes, projetado para operações de alta criticidade.

Como uma embarcação **Classe 2**, o PSV analisado está preparado para realizar operações que exigem alta precisão e segurança, como suporte a plataformas de petróleo. Ele é projetado para manter suas funções mesmo em caso de falha de um de seus sistemas ativos.

11.5 OPERAÇÃO EM DP E CONFIGURAÇÃO DE BARRAMENTO

A embarcação opera com tensão nominal de 6.600V, uma característica que favorece a eficiência energética ao permitir a redução de perdas elétricas durante a transmissão e distribuição de potência.

- Durante as operações em DP, o sistema funciona com barramento aberto, ou seja, os

geradores estão conectados em sistemas independentes. Essa configuração oferece maior segurança operacional, garantindo que uma falha em um barramento não comprometa o sistema inteiro.

- Nos demais modos de operação, como navegação ou fundeio, a embarcação utiliza o barramento fechado, permitindo a interligação dos geradores. Essa configuração melhora a eficiência energética, otimizando a distribuição de carga e reduzindo o consumo específico de combustível.

11.6 DADOS TÉCNICOS DOS MOTORES

Os motores principais da embarcação foram descritos e analisados considerando suas especificações técnicas:

- Modelo: Caterpillar 3512
- Tipo: Diesel 4T
- Potência Nominal: 1.630 kW por motor
- Consumo Específico de Projeto: 200 g/kWh
- Tipo de Combustível: MGO (Marine Gas Oil)
- Quantidade de motores: 4

Esses motores desempenham um papel crítico nas operações da embarcação e foram avaliados em termos de desempenho nos diferentes modos de operação.

Para complementar as informações gerais, a Tabela 2: Dados Técnicos e Operacionais dos Motores apresenta os detalhes específicos dos motores principais da embarcação. Ela inclui informações sobre potência, consumo específico, modos de operação e horas de funcionamento, fundamentais para as análises de eficiência energética.

Tabela 2: Dados Técnicos e Operacionais dos Motores
PSV / Classe 2 / AB 3933

Equipamento: Disel Gerador	Dg1	Dg2	Dg3	Dg4
Diesel Ou Elétrico	Diesel	Diesel	Diesel	Diesel
Tipo (2t Ou 4t)	4t	4t	4t	4t
Marca	Catterpillar	Catterpillar	Catterpillar	Catterpillar
Modelo	3512,00	3512,00	3512,00	3512,00
Tipo De Combustível Principal	Mgo	Mgo	Mgo	Mgo
Potencia (Kw)	1630,00	1630,00	1630,00	1630,00

Consumo Específico De Projeto (G/Kwh)	200,00	200,00	200,00	200,00
Potencia Média Anual (Kwh)	371,44	251,69	382,71	223,92
Potência Em Operação Em Dp (Kwh)	310,00	310,00	310,00	310,00
Potência Em Navegação (Kwh/Ano)	1119,13	754,68	1151,01	725,89
Potência Bordejando (Kwh/Ano)	283,55	187,85	270,99	125,4
Potência No Porto (Kwh/Ano)	23,01	23,01	23,01	23,01
Potência No Fundeio (Kwh/Ano)	60,07	41,23	42,93	21,38
Horas De Funcionamento Médio Anual (H)	4424	3196	4301	2671
Horas Em Operação Em Dp (H)	568	568	568	568
Horas Em Navegação (H)	1695	1143	1749	1103
Horas Bordejando (H)	1671	1107	1597	739
Horas Fundeio (H)	354	243	253	126
Horas No Porto (H)	136,00	135,00	134,00	135,00
Horímetro (H)	30810	14548	29297	27863

Fonte: Autor

Essa tabela detalha o desempenho dos motores da embarcação em cada modo de operação, complementando as informações gerais apresentadas na Tabela 1. Os dados coletados e tratados formam a base para as análises de eficiência energética e validação de consumo de combustível que serão discutidas nos capítulos subsequentes.

11.7 OPERAÇÃO EM BAIXA CARGA

Durante as operações em DP, foi observado que os motores da embarcação trabalham com cargas significativamente reduzidas, normalmente entre 10% e 40% da carga nominal. Essa característica é típica para embarcações de apoio marítimo, uma vez que o sistema de DP consome apenas a energia necessária para contrabalançar as forças externas, como vento, correnteza e ondas, em vez de operar em plena capacidade.

Embora essa operação com baixa carga seja suficiente para manter a posição da embarcação, ela representa um desafio para a análise de eficiência energética, já que os motores geralmente operam fora de seus pontos de maior eficiência. Tal comportamento reforça a importância de utilizar mecanismos de validação, como o Energy Operational Index (EOI), que considerem as condições reais de operação e as particularidades de embarcações deste tipo.

11.8 CONFIGURAÇÃO PROPULSIVA

A embarcação é equipada com propulsores azimutais, que substituem os lemes convencionais e oferecem maior flexibilidade e precisão nas manobras. Essa configuração, aliada à propulsão elétrica, proporciona controle avançado sobre a distribuição de potência entre os motores e os sistemas de propulsão, permitindo maior eficiência energética em diferentes modos de operação.

11.9 TRATAMENTO DE DADOS

O tratamento dos dados seguiu uma metodologia estruturada, com ênfase em corrigir discrepâncias e assegurar a confiabilidade das análises:

- Correção de Erros e Consistência dos Dados: A combinação da potência média anual, do consumo específico e das horas de funcionamento permitiu ajustar as estimativas iniciais de consumo de combustível, corrigindo discrepâncias observadas nos dados reportados.
- Cálculo da Energia Efetivamente Utilizada: A energia efetivamente empregada pelos motores foi calculada considerando o produto da massa de combustível consumido pelo

valor calórico inferior (LCV) do combustível, ajustado para refletir a potência média anual em cada modo de operação.

- Segmentação por Modo de Operação: Os dados foram estratificados para cada modo de operação, permitindo análises específicas e detalhadas, fundamentais para compreender o desempenho da embarcação em diferentes cenários.

Aplicação do Energy Operational Index (EOI): O EOI foi calculado com base na energia efetiva utilizada pelos motores como denominador e as emissões de CO₂ equivalente como numerador. Essa métrica foi empregada para validar os dados de consumo de combustível, destacando sua utilidade como ferramenta de análise.

11.10 IMPORTÂNCIA DO CONTEXTO OPERACIONAL

A embarcação analisada opera em águas tropicais, onde fatores como altas temperaturas, variações de salinidade e condições meteorológicas podem impactar significativamente a eficiência energética e o consumo de combustível. Essas condições reforçam a relevância de um estudo detalhado que considere os desafios específicos enfrentados em operações marítimas brasileiras.

12 METODOLOGIA DE CÁLCULO

A eficiência operacional foi analisada com base nos seguintes parâmetros:

1. Consumo de combustível (massa, em toneladas): Relacionado à energia do combustível disponível, calculada pelo valor calórico inferior (LCV) do tipo de óleo combustível utilizado.
2. Energia efetiva (Energy Total): Representa a energia que foi efetivamente transformada em trabalho pelos motores.
3. Energy Operational Index (EOI): Foi calculado considerando a energia efetivamente utilizada nos motores como denominador e as emissões totais de CO₂ equivalente como numerador, em gCO₂eq/MJ.

Os cálculos foram realizados para diferentes modos operacionais da embarcação, incluindo DP (Dynamic Positioning), navegação, manobras, fundeio e operações em porto.

A metodologia de cálculo foi desenvolvida para avaliar a eficiência operacional da embarcação e validar o uso do **Energy Operational Index (EOI)** como um mecanismo mais preciso e eficaz em comparação ao Proxy A, especialmente para embarcações de apoio marítimo que operam sob condições dinâmicas e variáveis. Essa abordagem permitiu investigar como os dados de consumo energético e emissões se alinham às hipóteses propostas, destacando as vantagens do EOI.

12.1 ETAPAS DA METODOLOGIA

A metodologia baseou-se em três etapas principais, cada uma conectada diretamente às hipóteses formuladas:

1. Cálculo da Energia Efetivamente Utilizada nos Motores

O primeiro passo consistiu em calcular a energia efetiva transformada em trabalho pelos motores, considerando as potências médias anuais em cada modo de operação.

Para isso, utilizou-se a equação:

$$\text{Energia Efetiva(MJ)} = \text{Consumo de Combustível (ton)} \times \text{LCV (MJ/ton)} \quad (4) \text{ Onde:}$$

- a. Consumo de Combustível foi obtido por triangulação, considerando a potência média, o consumo específico dos motores (200 g/kWh) e as horas anuais de operação.
 - b. LCV (Lower Calorific Value) foi fixado em 42.700 MJ/ton, representando o valor calórico inferior do MGO.
2. Essa etapa fornece a base para análises precisas de eficiência energética e está diretamente ligada à Hipótese 1, que postula que o EOI, ao incorporar essas variáveis reais de operação, é mais preciso do que o Proxy A, que utiliza apenas dados estáticos.
3. Cálculo da Energia Total do Combustível foi obtido através da multiplicação do consumo de combustível e o valor calórico do combustível. Para isso, utilizou-se a equação:

$$\text{Energia Total} = \text{Consumo de Combustível (ton)} \times \text{LCV (42.700 MJ/ton)} \quad (5)$$

4. Cálculo do Energy Operational Index (EOI)

O EOI foi calculado como:

$$\text{EOI(gCO}_2\text{eq/MJ)} = \text{Emissões de CO}_2 \text{ equivalente / Energia Efetiva Utilizada} \quad (6)$$

Onde:

- a. Emissões de CO₂ equivalente foram calculadas com base no consumo de combustível reportado e nos fatores de emissão padrão.
 - b. Energia Efetiva Utilizada é a energia calculada na etapa anterior.
 5. O EOI foi comparado com os valores de Proxy A, que utiliza o MCR (Maximum Continuous Rating) como referência para determinar a eficiência. Esta etapa está conectada à Hipótese 2, que afirma que o Proxy A apresenta limitações ao desconsiderar as variações dinâmicas de carga.
 6. Análise de Variações de Carga nos Motores por Modo de Operação
- A terceira etapa avaliou as cargas médias dos motores em diferentes modos operacionais (DP, navegação, bordejando, porto e fundeio). Utilizou-se a fórmula:
- $$\text{Carga Média(\%)} = \text{Potência Média (kW)} \times 100 / \text{Potência Nominal (kW)} \quad (7)$$
7. Essa análise permitiu identificar padrões de subutilização (10% a 40% da capacidade) em operações de DP, alinhando-se à Hipótese 4, que postula que o EOI é mais adequado para validar dados de consumo de embarcações que operam em múltiplos modos dinâmicos.

13 RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os resultados dos cálculos realizados para avaliar a eficiência operacional da embarcação e validar o Energy Operational Index (EOI) em comparação ao Proxy A, destacando as diferenças entre os dois mecanismos. Os dados foram quantificados e organizados em tabelas para detalhar os valores obtidos, permitindo uma análise robusta dos indicadores.

13.1 COMPARAÇÃO ENTRE EOI E PROXY A

O cálculo do Proxy A baseia-se em uma abordagem estática, considerando o Maximum Continuous Rating (MCR) dos motores principais, sem levar em conta as variações dinâmicas de carga ou os diferentes modos de operação.

Os valores calculados para o Proxy A foram comparados aos do EOI, detalhados na Tabela 3: Comparação entre EOI e Proxy A por Modo de Operação.

Tabela 3: Comparação entre EOI e Proxy A por Modo de Operação

Modo Operacional	Consumo de Combustível (ton)	Energia Efetiva (MJ)	EI (gCO ₂ eq/MJ)	Proxy A (gCO ₂ eq/MCR)
DP	409,30	2.535.552,00	13,63	18,45
Navegação	795,08	20.063.871,90	55,51	61,90
Bordejando	532,96	4.345.933,07	17,94	22,12
Porto	97,28	423.623,30	9,58	12,35
Fundeio	90,89	80.847,94	1,96	2,50
Total	1.925,50	27.449.828,21	31,4	39,5

Fonte: Autor

A Tabela 3 apresenta uma comparação direta entre os valores obtidos pelo EOI e pelo Proxy A, destacando as principais diferenças entre os dois mecanismos de validação. Nela, estão organizados:

- Consumo de Combustível (ton): A quantidade total de combustível consumido em cada modo operacional.
- Energia Efetiva (MJ): A energia que foi efetivamente transformada em trabalho pelos motores.
- EI (gCO₂eq/MJ): As emissões específicas calculadas pelo EOI, refletindo as condições reais de operação.
- Proxy A (gCO₂eq/MCR): As emissões específicas calculadas com base no MCR e nas horas operacionais, representando a abordagem estática do Proxy A

14 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os cálculos realizados destacaram diferenças marcantes entre o EOI e o Proxy A, evidenciando a superioridade do EOI na avaliação da eficiência energética e validação do consumo de combustível.

O EOI apresentou valores de emissões específicos mais baixos e consistentes em todos os modos de operação, comprovando sua capacidade de refletir as condições reais da embarcação. Por outro lado, o Proxy A, dependente do MCR (Maximum Continuous Rating), superestimou as emissões por não considerar as variações dinâmicas de carga, especialmente em cenários com baixa demanda energética.

14.1 OPERAÇÃO EM DP

Neste estudo, os cálculos revelaram que, para a embarcação analisada, a carga média em DP foi de aproximadamente 19%, posicionando-se na faixa inferior do intervalo esperado. Isso significa que, na prática, os motores dessa embarcação operaram com cargas abaixo do que seria necessário para atingir uma eficiência energética ideal. Em termos comparativos, a eficiência calculada para o DP foi de apenas 14,51%, indicando que a maior parte da energia potencial do combustível consumido não foi transformada em trabalho útil.

O EOI capturou com maior precisão a eficiência operacional nesse cenário, resultando em emissões específicas de 13,63 gCO₂eq/MJ. Já o Proxy A, desconsiderando a baixa carga real dos motores, apresentou um valor inflacionado de 18,45 gCO₂eq/MCR, destacando sua limitação em contextos operacionais dinâmicos.

14.2 NAVEGAÇÃO

Durante a navegação, o aumento da carga média dos motores melhorou a eficiência operacional, um aspecto bem refletido pelo EOI, que calculou emissões específicas de 55,51 gCO₂eq/MJ. O Proxy A, entretanto, resultou em 61,90 gCO₂eq/MCR, evidenciando uma superestimação das emissões nesse modo, mesmo com os motores operando mais próximos de suas condições ideais.

14.3 PORTO E FUNDEIO

Nos modos de porto e fundeio, caracterizados por cargas muito baixas, o EOI novamente demonstrou maior sensibilidade às condições reais. O Proxy A, com sua abordagem estática, continuou superestimando as emissões, reforçando sua inadequação para representar essas operações de baixa demanda.

14.4 RESULTADOS TOTAIS

No cálculo total, o EOI apresentou um valor global de 31,4 gCO₂eq/MJ, enquanto o Proxy A forneceu 39,5 gCO₂eq/MCR, uma discrepância que reflete a maior precisão do EOI ao integrar dados dinâmicos de operação. Além disso, a triangulação dos dados revelou que o consumo reportado à bandeira (680,80 toneladas) subestimou o consumo real, que totalizou 1.925,50 toneladas. Essa diferença foi corrigida pelo EOI, confirmando sua eficácia na validação de dados inconsistentes.

14.5 ADAPTAÇÃO ÀS VARIAÇÕES OPERACIONAIS

A Tabela 3 ilustra como o EOI se adapta às diferentes condições operacionais da embarcação, refletindo com maior fidelidade as nuances de cada modo de operação. Em contrapartida, o Proxy A apresenta valores estáticos, menos representativos e incapazes de capturar as peculiaridades de cenários como o DP ou o fundeio.

Esse resultado reforça a aplicabilidade do EOI como um mecanismo de validação robusto, especialmente no contexto do desenvolvimento do GHG Fuel Indicator (GFI) target, promovendo análises mais precisas e alinhadas às realidades operacionais do setor marítimo.

14.6 CARGA MÉDIA DOS MOTORES NOS DIFERENTES MODOS DE OPERAÇÃO

A análise da carga média dos motores nos diferentes modos de operação destacou contrastes significativos entre o modo DP (Dynamic Positioning) e o modo Navegação, os dois cenários mais relevantes para a avaliação da eficiência operacional da embarcação.

O modo DP (Dynamic Positioning) apresenta um padrão operacional das embarcações do apoio marítimo caracterizado por baixas cargas nos motores, que variam geralmente entre 10% e 40% de sua capacidade nominal em embarcações do setor offshore. Essa faixa reflete o que é comumente encontrado nos navios em operações semelhantes, dado que o sistema de DP consome apenas a energia necessária para contrabalançar forças externas, como vento, correnteza e ondas, sem exigir a potência total dos motores. No entanto, essas condições de baixa carga podem comprometer a eficiência energética, pois os motores trabalham fora de seus pontos ideais de rendimento.

No modo DP, os motores operam com uma carga média de aproximadamente 19%, significativamente abaixo do ponto ideal de eficiência energética, que geralmente está entre 70% e 85% da carga nominal. Essa característica é intrínseca às operações de posicionamento dinâmico, onde a energia consumida é utilizada para contrabalançar forças externas (vento, correnteza e ondas), mantendo a embarcação estática em relação a um ponto específico. Embora essa demanda seja essencial para a segurança e a funcionalidade da embarcação em DP, ela resulta em ineficiências significativas, como observado na eficiência energética calculada de 14,51% para esse modo. Isso ocorre porque os motores, ao trabalhar com baixa carga, apresentam maior consumo específico (g/kWh) e, consequentemente, maior perda de energia.

Por outro lado, o modo Navegação apresentou uma carga média de 68,66%, próxima da faixa de operação ideal dos motores. Essa proximidade reflete a estabilidade do consumo de energia necessária para o deslocamento contínuo da embarcação, onde a propulsão principal opera de maneira mais eficiente. Como resultado, embora o consumo de combustível nesse modo seja o mais elevado

entre todos os cenários analisados (795,08 toneladas), o rendimento energético é consideravelmente melhor, permitindo uma transformação mais efetiva da energia potencial do combustível em trabalho útil. Essa eficiência superior no modo navegação ilustra o impacto positivo de operar os motores em faixas de carga otimizadas.

A comparação entre esses dois modos revela um dilema operacional: enquanto o modo DP é essencial para cumprir funções críticas no setor offshore, ele inevitavelmente gera ineficiências devido à baixa carga. Já o modo navegação, embora exija maior consumo absoluto de combustível, demonstra como o aumento da carga nos motores pode melhorar a eficiência relativa. Essa distinção reforça a importância de mecanismos como o Energy Operational Index (EOI), que capturam essas nuances operacionais e oferecem uma avaliação precisa da eficiência energética em condições reais de uso.

15 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo consolidam a relevância do Energy Operational Index (EOI) como mecanismo de validação para a análise de eficiência energética em embarcações de apoio marítimo. Através de sua abordagem dinâmica, que considera as condições reais de operação, o EOI demonstrou ser mais preciso e confiável em comparação ao Proxy A e aos métodos tradicionais, como o Bunker Delivery Note (BDN). Essas características tornam o EOI uma ferramenta essencial para validar os dados de consumo de combustível utilizados na composição do GHG Fuel Indicator (GFI) target, contribuindo para o desenvolvimento de metas mais realistas e alinhadas às práticas do setor.

A análise destacou a importância de adotar estratégias específicas para otimizar operações em modos de baixa carga, como o Dynamic Positioning (DP). Nesses cenários, o EOI revelou a ineficiência energética causada por cargas médias de apenas 19%, indicando a necessidade de redistribuição de cargas ou ajustes no controle de potência para reduzir o impacto ambiental. Por outro lado, o modo Navegação, com carga média de 68,66%, demonstrou ser o mais eficiente, evidenciando como a operação em faixas ideais de carga pode maximizar o rendimento energético. Essa compreensão é crucial para orientar decisões técnicas e operacionais voltadas à sustentabilidade no setor offshore.

Os resultados refutaram a aplicabilidade do Proxy A como mecanismo de validação em embarcações de apoio marítimo, especialmente por sua dependência de parâmetros estáticos, como o MCR (Maximum Continuous Rating), que não capturam as nuances dos modos operacionais dinâmicos. Em contrapartida, o EOI corrigiu as discrepâncias observadas entre o consumo reportado à bandeira e o consumo real, revelando uma subestimação de 680,80 toneladas no consumo

declarado. Esse ajuste é uma evidência direta da capacidade do EOI de fornecer análises mais precisas e confiáveis.

16 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a eficiência energética e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) em embarcações de apoio marítimo, com foco na comparação entre os mecanismos de validação Proxy A e Energy Operational Index (EOI) no contexto do GHG Fuel Indicator (GFI) target. A análise confirmou que, para embarcações sem aplicação de indicadores como o Energy Efficiency Design Index (EEDI) ou o Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI), o EOI é um mecanismo superior, capaz de capturar com maior precisão as condições operacionais reais.

O EOI destacou-se por integrar variações de potência nos diferentes modos de operação, refletindo melhor a complexidade e as peculiaridades do setor offshore. Essa abordagem dinâmica contrastou com o Proxy A, cuja dependência de parâmetros estáticos resultou em emissões superestimadas e menor confiabilidade.

A adoção do EOI como ferramenta de validação no desenvolvimento do GFI target representa um avanço significativo para o setor marítimo. Além de promover maior precisão na gestão de emissões de GEE, o EOI oferece uma base robusta para a implementação de práticas operacionais mais eficientes e sustentáveis. A aplicação desse mecanismo reforça a importância de considerar as especificidades operacionais das embarcações de apoio marítimo, alinhando-se às metas globais de descarbonização e ao compromisso do setor com a sustentabilidade.

Essas conclusões reafirmam o papel estratégico do EOI na transição para um transporte marítimo mais eficiente e ambientalmente responsável, evidenciando seu potencial como referência global em validação de dados no contexto das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

A autora agradece à Associação Brasileira das Empresas de Apoio Marítimo (ABEAM) pela cessão dos dados utilizados neste estudo, fornecidos voluntariamente por seus associados. Ressalta-se que essa colaboração foi indispensável para a realização das análises apresentadas, evidenciando o compromisso do setor de apoio marítimo com o avanço do conhecimento científico e a busca por práticas mais eficientes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (LCA Guidelines)RES 376(80) 2023.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Further consideration of the development of candidate mid-term measure(s) in the context of Phase III of the work plan for the development of mid- and long-term measures. GHG-EW 3/INF.6 Comparative Analysis of Candidate Mid-Term Measures. Fact sheet. ISWG-GHG 15/3/1, ISWG-GHG 15/3/2, ISWG-GHG 13/4/7, ISWG-GHG 13/4/8.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). ISWG-GHG 15/3/6 Further Consideration and Finalization of the Assessment and Selection of Measure(s) to Further Develop in the Context of Phase II of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures*. Possible draft amendments to MARPOL Annex VI to implement a Global GHG Fuel Standard. Submitted by ICS, 12 May 2023.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Further Consideration of a Basket of Candidate Mid-Term Measures in the Context of Phase II of the Work Plan for the Development of Mid- and Long-Term Measures*. Further development of the proposal for a GHG Fuel Standard.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Resolution MEPC.377(80) (adopted on 7 July 2023): 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Further Technical and Operational Measures for Enhancing the Energy Efficiency of International Shipping. Transport work for offshore and marine contracting vessels. Submitted by the Russian Federation and IMCA. MEPC76/6.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). Air Pollution Prevention: Comments on the Report of the Correspondence Group on Air Pollution and Energy Efficiency. Submitted by the International Marine Contractors Association (IMCA).

JARDIM, Luciana Suman. *Energy Efficiency Proxy: What Does Offshore Have to Do with It? Dynamic Positioning Conference, 2022*

EUROPEAN UNION. Regulation (EU) 2015/757 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2015 on the monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC. EUR-Lex - 02015R0757-20240101. Disponível em: EUR-Lex – 02015R0757-20240101. Acesso em: 10 ago. 2024.

BRAZIL, FURTHER CONSIDERATION OF THE DEVELOPMENT OF CANDIATE MID-TERM MEASURE(S). Integrated evaluation of energy efficiency and emissions in vessels (SINERGIA), OEI (Operational Efficiency Indicator). Submitted by Brazil. 2024 MEPC82.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. Fourth IMO Greenhouse Gas

Study 2020. Full report and annexes. Londres: IMO, 2020. Disponível em: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. RESOLUTION MEPC.391(81) (adoptada em 22 de março de 2024). 2024 Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (2024 LCA Guidelines). Londres: IMO, 2024.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). *Examples of offshore vessel types*. Submitted by the Russian Federation and IMCA. MEPC 74/INF.35. 2019.