

JANEIRO DE 2026

BOLETIM DE LOGÍSTICA

SÉRIE

VOLUME V TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES MODO AQUAVIÁRIO

MODO AQUAVIÁRIO
TRANSPORTE DE CARGAS



 [infrasaoficial](#)

 [infra.oficial](#)

 [infra-oficial](#)

 [infrasa.oficial](#)

 observatório@infrasa.gov.br

 institucional@infrasa.gov.br

 www.ontl.infrasa.gov.br

 www.infrasa.gov.br



JANEIRO DE 2026

BOLETIM DE LOGÍSTICA

VOLUME V

TRANSIÇÃO ENERGÉTICA NO SETOR DE TRANSPORTES MODO AQUAVIÁRIO

MODO AQUAVIÁRIO
TRANSPORTE DE CARGAS

EQUIPE

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

INFRA S.A.

DIRETOR-PRESIDENTE

Jorge Luiz Macedo Bastos

DIRETORA DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS

Elisabeth Alves da Silva Braga

DIRETOR DE EMPREENDIMENTOS

André Luis Ludolfo da Silva

DIRETOR DE PLANEJAMENTO

Cristiano Della Giustina

DIRETOR DE MERCADO E INOVAÇÃO

Marcelo Vinaud Prado

Observatório Nacional de Transporte e Logística – ONTL

Infra S.A.

Endereço: SAUS, Quadra 01, Bloco G, Lotes 3 e 5, Asa Sul, Brasília - DF - 70.070-010

E-mail: ontl@infrasa.gov.br / institucional@infrasa.gov.br

Site: www.infrasa.gov.br / www.ontl.infrasa.gov.br

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

José Renan Vasconcelos Calheiros Filho

SUPERINTENDENTE DE INTELIGÊNCIA DE MERCADO

Lilian de Alencar Pinto Campos

GERENTE DE INOVAÇÃO

Sirléa de Fátima Ferreira Leal Moura

ASSESSORIA TÉCNICA

Gabriela Camilotti Saint Martin

Nícolas Guimarães Ohofugi

Venina de Souza Oliveira

COLABORADORES

Adriana Vanessa Mendes Moreira- Diagramação

Mariane Gonzalez da Costa - Redação



A transição energética consolidou-se como um dos principais vetores de reorganização das políticas climáticas e das estratégias de desenvolvimento em escala global. Fundamentada em evidências científicas amplamente reconhecidas e sintetizadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), essa agenda parte do entendimento de que reduções rápidas, profundas e contínuas de emissões são essenciais para limitar o aquecimento global a 1,5°C. Sem essa trajetória, eventos extremos como secas prolongadas, cheias históricas, tempestades costeiras e variações hidrológicas tendem a se intensificar, afetando diretamente operações portuárias, infraestrutura crítica, navegabilidade de hidrovias e custos logísticos.

A transição energética, envolve medidas de redução da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), por meio da eletrificação, aumento da eficiência energética, digitalização e adoção de combustíveis alternativos como metanol, hidrogênio verde, biocombustíveis avançados e amônia. Nesse contexto, a transição energética tornou-se o elemento central das discussões estratégicas que moldam o futuro do setor aquaviário.

A governança climática internacional é conduzida no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), por meio das Conferências das Partes (COPs), nas quais metas, instrumentos e mecanismos de financiamento para redução de emissões são definidos. O Acordo de Paris, firmado na COP 21, estabeleceu o marco geral de limitação do aquecimento global e passou a orientar a atualização periódica das contribuições nacionalmente determinadas (NDCs¹). As decisões mais recentes relativas ao transporte marítimo e aos investimentos em infraestrutura de baixo carbono foram aprofundadas nas COP 28, 29 e 30.

No caso específico do transporte aquaviário, essas orientações são complementadas pela Organização Marítima Internacional (IMO), que estabelece padrões regulatórios de eficiência energética e metas de redução de emissões para a frota global.

¹ As contribuições nacionalmente determinadas (NDCs, na sigla em inglês) são os compromissos firmados por cada país para redução das emissões de gases de efeito estufa e se adaptar aos impactos da mudança do clima, apresentados no âmbito do Acordo de Paris e atualizados periodicamente perante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC).

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE CONFERENCE

COP30 AMAZÔNIA

CUIDAR DO PLANETA PARA O FUTURO DA HUMANIDADE

BELÉM • BRASIL • 2025



No Brasil, a agenda climática ganhou força renovada com a realização da COP 30, momento que ampliou a convergência entre política climática, logística e governança ambiental e impulsionou iniciativas como o Índice de Desempenho Ambiental da Navegação (IDA-Navegação) e a Matriz de Avaliação de Requisitos de Embarcações Sustentáveis (M.A.R.E.S.), que passam a orientar parte das ações ambientais do setor no Brasil.

Nesse cenário, o país parte de uma posição estratégica marcada por vantagens competitivas expressivas. A extensa costa navegável, a forte dependência do modo marítimo para exportações, a presença de hidrovias estruturantes e uma matriz elétrica predominantemente renovável favorecem a adoção de soluções de baixo carbono, como *Onshore Power Supply* (OPS), equipamentos elétricos de movimentação, sistemas digitais de integração operacional e, no médio prazo, combustíveis alternativos.

Esse potencial, contudo, convive com uma realidade heterogênea no que diz respeito à maturidade ambiental dos portos e terminais. Os inventários de emissões corporativos, em geral baseados no GHG Protocol, ainda apresentam limitações, sobretudo no que se refere à mensuração abrangente do Escopo 3, estimando as emissões associadas a embarcações, acessos terrestres e outras atividades indiretas da cadeia logística.

Embora diversas iniciativas estejam em curso, a adoção de tecnologias estruturantes ainda avança de forma desigual. A eletrificação de equipamentos portuários ocorre de forma gradual; a infraestrutura necessária para combustíveis alternativos como metanol, amônia, hidrogênio e biocombustíveis avançados permanece concentrada em projetos-piloto e estudos iniciais; e a integração digital de sistemas avança a ritmos distintos entre portos públicos e arrendatários. Ao mesmo tempo, a sazonalidade hidrológica, dragagem, disponibilidade de frota e limitações de infraestrutura seguem como desafios da navegação interior, condicionando a resiliência operacional e a capacidade de expansão do modo aquaviário.



Dentro desse contexto, instrumentos como a M.A.R.E.S. e o IDA-Navegação ganham relevância por estabelecerem métricas claras, critérios comparáveis e parâmetros objetivos de desempenho ambiental, social e operacional. Esses instrumentos fortalecem a governança ambiental do setor ao ampliar transparência, auxiliar a tomada de decisão para priorização e direcionamento de investimentos, facilitar acesso a financiamentos verdes e alinhar a frota nacional a critérios reconhecidos globalmente.

Diante desse conjunto de fatores, a transição energética do setor aquaviário brasileiro apresenta oportunidades de avanço e sobreposição dos desafios estruturais existentes e que exigem planejamento integrado, investimentos contínuos e coordenação regulatória. A necessidade de resiliência diante de eventos climáticos extremos, a modernização da navegação interior, a consolidação de inventários de emissões mais robustos, a expansão da infraestrutura elétrica portuária, a aceleração da adoção de combustíveis alternativos e a maior integração entre órgãos públicos, operadores e arrendatários configuram temas centrais para fortalecer a competitividade e a sustentabilidade.

Nesse contexto, este boletim se propõe a oferecer uma visão integrada sobre a transição energética no setor aquaviário brasileiro, conectando marcos internacionais, realidade operacional, maturidade ambiental, avanços regulatórios e soluções tecnológicas emergentes. O objetivo é apresentar, de forma acessível e tecnicamente consistente, as estratégias de descarbonização adotadas internacionalmente e em território nacional, considerando o ponto de partida do Brasil, seus avanços recentes e seus desafios. A partir desse quadro, é possível analisar as oportunidades de adoção de novas estratégias e adaptação e aprimoramento de iniciativas já em curso, contribuindo para orientar decisões estratégicas, políticas públicas e investimentos capazes de acelerar a trajetória nacional rumo a uma logística de baixo carbono.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

O modo aquaviário constitui, historicamente, o vetor fundamental das trocas comerciais e economia global, consolidando-se como o modo predominante para a movimentação de cargas em grandes distâncias, compreendendo tanto a navegação marítima, com transporte de longo curso e cabotagem, quanto a navegação interior, realizada por meio de hidrovias.

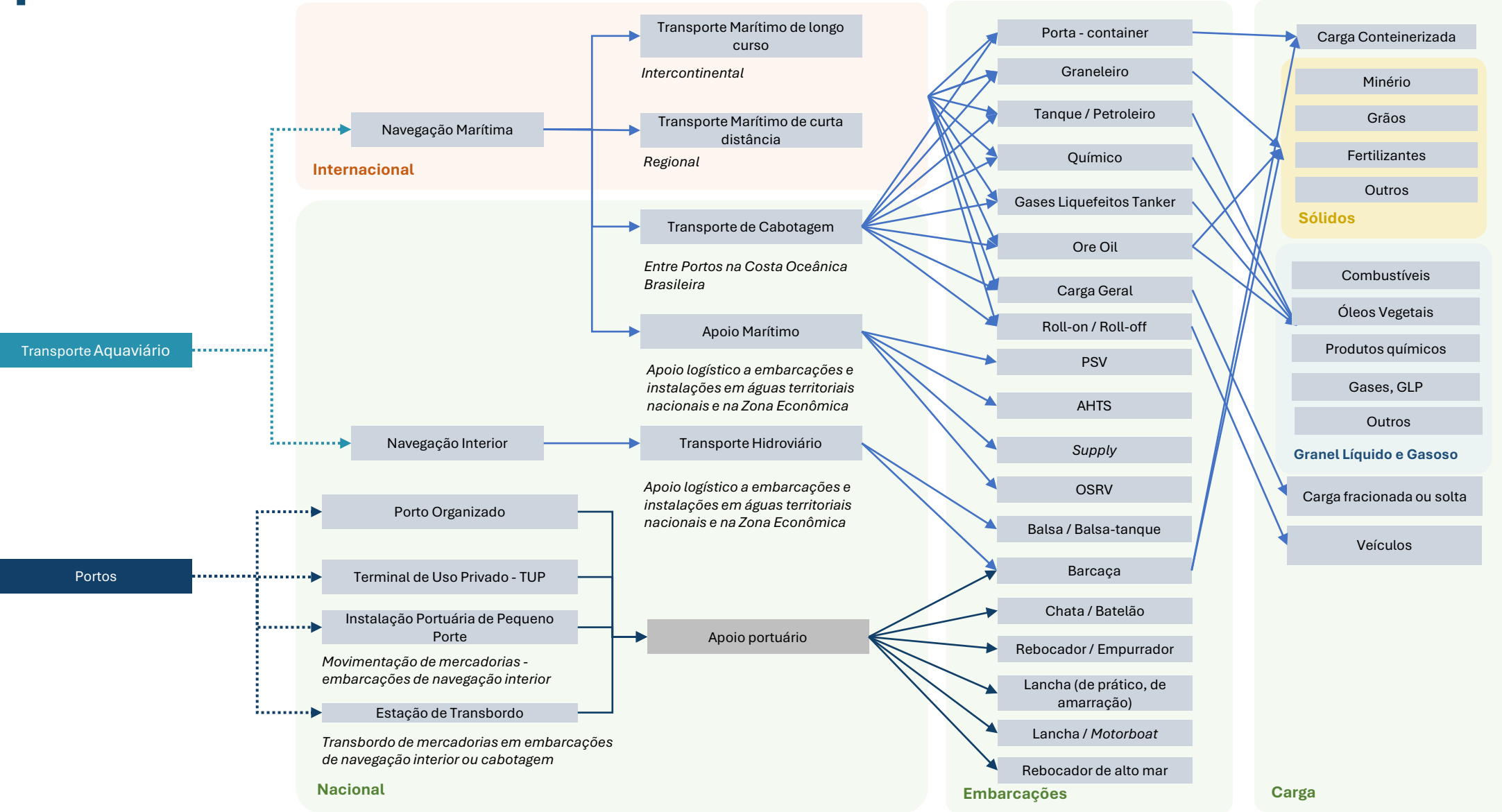
No Brasil, a Navegação Interior e a Cabotagem desempenham papel estrutural na logística, sustentando fluxos estratégicos de comércio e contribuindo para a integração territorial e econômica do país. Sua elevada eficiência energética, a capacidade de movimentação em grande escala e a competitividade por tonelada-quilômetro o consolidam como elemento decisivo da matriz de transportes quando se observa, em particular, a cabotagem e a navegação interior, responsáveis pelos fluxos domésticos de carga e pela ligação entre hinterlândia produtiva e portos marítimos.

No âmbito da matriz de transportes de um país, os segmentos hidroviário interior e cabotagem configuram a participação na matriz de transporte doméstico, enquanto a navegação de longo curso se insere como elo das cadeias globais de comércio, mas não integra a matriz interna. Em um contexto internacional que valoriza cadeias logísticas de baixo carbono e operações ambientalmente responsáveis, a combinação entre as características geográficas do Brasil, a relevância do comércio exterior e o potencial de expansão da navegação interior e da cabotagem reforça a centralidade do setor hidroviário e da cabotagem na agenda nacional de infraestrutura.

Para uma melhor compreensão das análises realizadas nesse estudo, é importante destacar os diferentes tipos de navegação no modo aquaviário e o âmbito em que operam, seja em nível Nacional ou Internacional, bem como as embarcações e o tipo de carga transportado por elas, e a categorização dos portos. Para isso, pode-se observar o fluxograma apresentado na Figura 1.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Figura 1: Fluxograma da infraestrutura portuária nacional e internacional



Fonte: Elaborado com base nas Leis nº 12.815/2013 e 9.432/1997, e dados da ANTAQ (1,2,3,4)

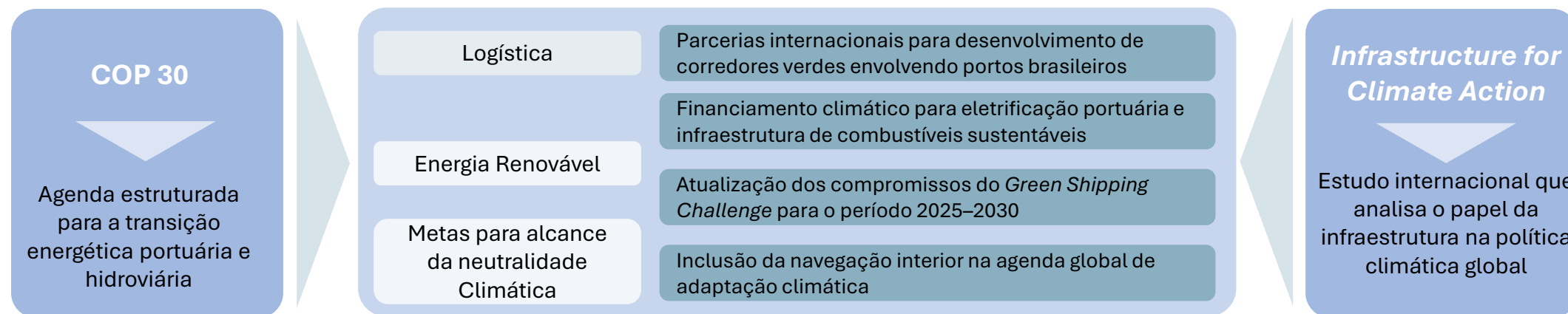
PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Transição Energética no Modo Aquaviário

A transição energética do setor aquaviário se consolidou como um eixo estratégico de competitividade logística em países que buscam alinhar eficiência operacional, inovação tecnológica, metas climáticas ambiciosas e novas exigências de governança ambiental. O cenário global aponta que a descarbonização deixou de ser apenas uma pauta ambiental para se tornar componente central da política industrial, do planejamento estratégico de longo prazo e da inserção competitiva no comércio internacional.

Mesmo em contextos geográficos e econômicos distintos, como na Europa, América do Norte e Ásia, observa-se uma convergência em torno de uma agenda comum de modernização do transporte marítimo e portuário, que associa inovação tecnológica, redução progressiva de emissões e reorganização da governança setorial (5).

Figura 2: Agenda da transição energética portuária e para hidrovias apresentada na COP 30.



Fonte: Elaboração própria com base em (8,9)

A Organização Marítima Internacional (IMO) desempenha papel estruturante ao ampliar consistentemente a ambição climática e detalhar instrumentos de monitoramento, eficiência e governança. A revisão de sua estratégia de redução de emissões, aprovada em 2023, definiu metas globais de redução mínima de 20% das emissões até 2030, aumento progressivo para 70% até 2040 e alcance da neutralidade climática até 2050 (6).

A emissão de GEE do transporte marítimo internacional representa cerca de 2% do total de emissões globais, em 2022. De acordo com previsões da Agência Internacional de Energia, seria necessário a participação de cerca de 14% de combustíveis de baixa ou zero emissão em 2030 para cumprimento do cenário de emissões líquidas zero até 2050 (7).

A COP 30 foi um marco ao incluir, pela primeira vez, uma agenda estruturada para a transição energética portuária e para hidrovias, com anúncios que reforçam a convergência entre logística, energia renovável e metas de neutralidade climática.

A agenda estruturada na COP 30 converge com recomendações do relatório *Infrastructure for Climate Action* ao enfatizar a necessidade de integrar planejamento portuário, expansão de energia renovável, modernização regulatória e governança ambiental, diretrizes que dialogam diretamente com iniciativas brasileiras já em curso e reforçam o posicionamento do país como ator estratégico na transição logística de baixo carbono.

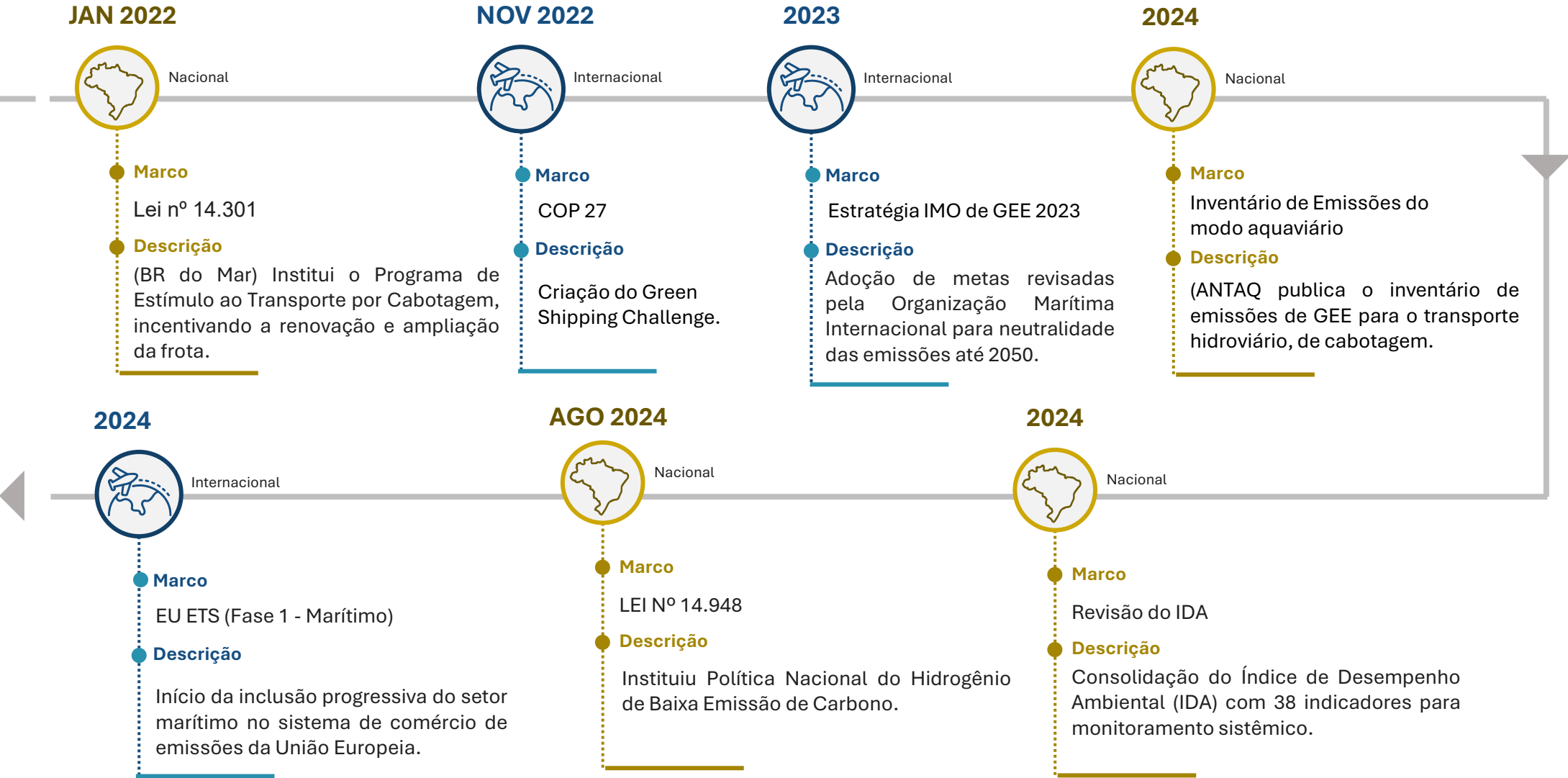
PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Marco Regulatório e Políticas de Descarbonização

A agenda regulatória que orienta a transição energética no setor aquaviário tem se consolidado de forma acelerada, refletindo tanto a evolução dos marcos internacionais quanto o fortalecimento das estratégias nacionais de modernização logística, eficiência energética e sustentabilidade.



PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO



PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

DEZ 2024



Nacional

Marco

Lei nº 15.042

Descrição

Instituiu o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE).

JUL 2025



Nacional

Marco

Decreto nº 12.555

Descrição

Regulamentação da BR do Mar.

NOV 2025



Nacional

Marco

COP 30 (Belém, PA)

Descrição

Marco diplomático e técnico em que o Brasil apresentou os avanços em Corredores Verdes e uso de etanol, biodiesel B24, HVO, metanol verde, bio-GNL, amônia e hidrogênio verde.

DEZ 2025



Nacional

Marco

MPOR Portaria nº 736

Descrição

Programa Nacional de Descarbonização de Portos (PND-Portos).

NOV 2025



Nacional

Marco

COP 30 (Belém, PA)

Descrição

Lançamento do IDA – Navegação.

NOV 2025



Nacional

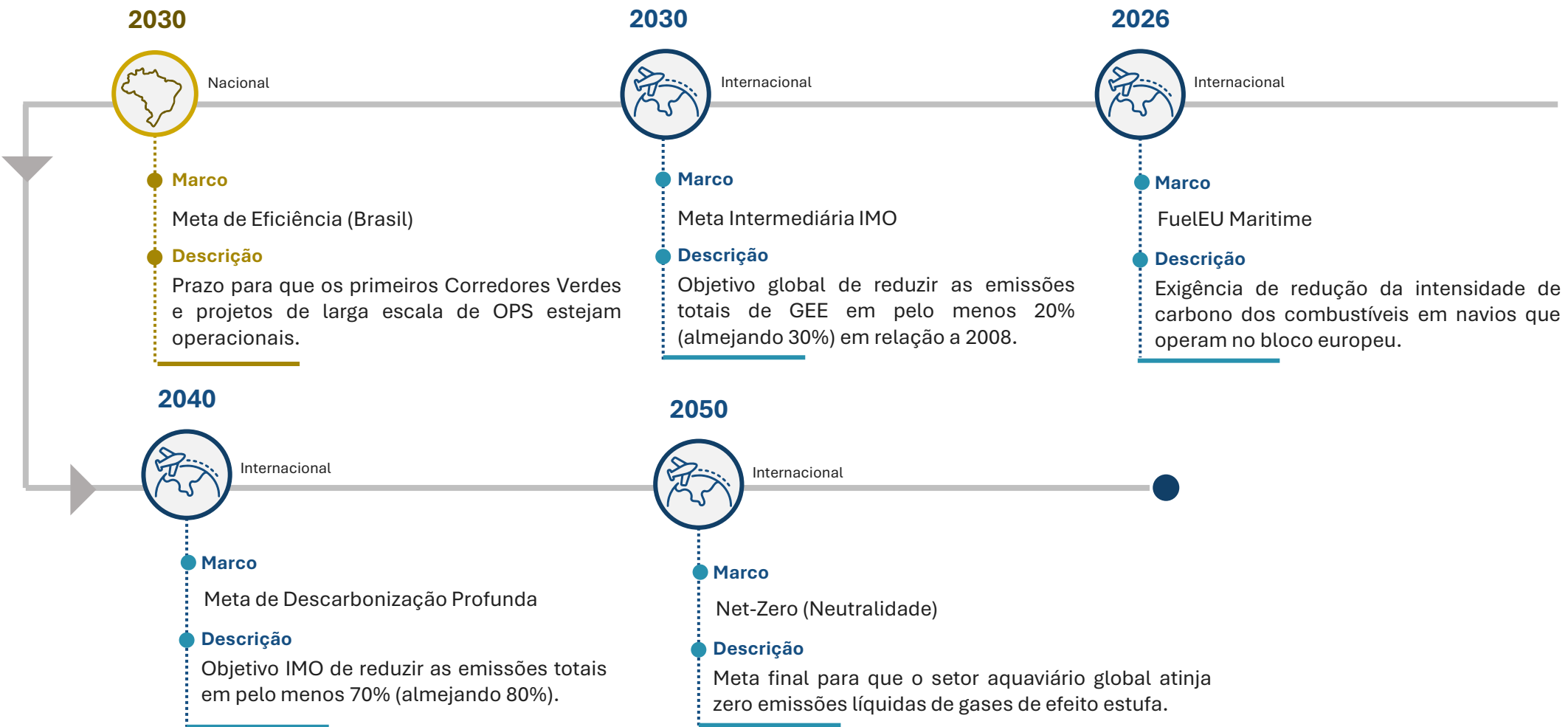
Marco

COP 30 (Belém, PA)

Descrição

Anúncio de previsão de uso de indicadores de eficiência energética (EEXI, EEDI e CII) e da adoção de planos de eficiência (SEEMP).

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO



Fonte: Com base em (1,2,10,11,12,13)

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

No cenário global, a regulação climática ganhou novo impulso com o endurecimento das metas da Organização Marítima Internacional (IMO) e com o avanço das políticas climáticas da União Europeia, que passaram a incorporar de maneira mais estruturada o transporte marítimo em seus instrumentos de descarbonização. O alinhamento às normas internacionais tornou-se, portanto, um elemento central para a competitividade portuária e logística do Brasil, que já vem desenvolvendo ações próprias de transição e encontra, nesse ambiente regulatório, oportunidades para acelerar projetos e ampliar a integração com cadeias globais de baixo carbono.

A IMO desempenha papel estruturante nesse processo. A adoção da regra IMO 2020, que reduziu drasticamente o teor máximo de enxofre nos combustíveis marítimos, estabeleceu o marco mais visível da nova fase de regulação ambiental. A revisão da estratégia da IMO em 2023 reforçou ainda mais essa tendência, ao estabelecer metas de redução absoluta de emissões de GEE para o alcance da neutralidade climática até 2050.

Esses objetivos encontram-se ancorados à instrumentos técnicos específicos e progressivos, como o Índice de Design Eficiente Energeticamente (EEDI, na sigla em inglês *Energy Efficiency Design Index*), voltado para novas embarcações; o Índice de Eficiência Energética de Embarcações Existentes (EEXI, na sigla em inglês *Energy Efficiency Existing Ship Index*), aplicado a embarcações em operação; e o Índice de Intensidade de Carbono (CII, na sigla em inglês *Carbon Intensity Indicator*), indicador anual de intensidade de carbono dos navios em operação, com objetivo de melhoria contínua do desempenho ambiental.

Esses índices reforçam a exigência por desempenho ambiental mensurável, auditável e comparável. Debates em curso sobre mecanismos econômicos mais amplos, notadamente a possível definição de uma taxa internacional de carbono marítimo (*levy*) aplicado por tonelada de CO₂ equivalente emitida, apontam para tendência estrutural de internalização das externalidades ambientais negativas no custo direto do transporte marítimo. Além disso, esses mecanismos vêm estimulando operadores e estaleiros na adaptação de embarcações, implementação de sistemas de eficiência e busca por alternativas tecnológicas em escala crescente.

Para países exportadores, como o Brasil, essas mudanças impactam diretamente as embarcações com baixa performance, que podem sofrer restrições, penalizações ou serem pressionadas por custos adicionais associados a combustíveis e eficiência, afetando a previsibilidade e estabilidade dos custos logísticos e o acesso a mercados estratégicos.

O *Green Shipping Challenge*, liderados pelo EUA e Noruega, é uma iniciativa que busca promover a adoção de compromissos voluntários por parte de diversos atores, tanto de países e portos, quanto de empresas para descarbonização do transporte marítimo. Além disso, promove a comunicação dos avanços realizados na descarbonização em eventos da COP, por meio de indicadores-chave (12).

Além dos marcos normativos multilaterais, o dinamismo da transição também é moldado pelas decisões do setor privado. Grandes armadores globais, como Maersk, Mediterranean Shipping Company (MSC), CMA CGM, Ocean Network Express (ONE) e Evergreen, assumiram compromissos voluntários para operar, até 2030, frotas compatíveis com combustíveis alternativos e com reduções significativas de suas emissões de GEE.

Vale destacar, que a vida útil média de embarcações é de cerca de 30 anos, podendo alcançar o patamar de 40 anos se realizada a operação e manutenção correta (14), que pode ser uma barreira na mudança da tecnologia de propulsão. Deve-se considerar que decisões tomadas no presente para a construção de novas embarcações de grande porte ainda estarão em operação em 2050 (14).

Nesse contexto, para garantir a redução de emissões em curto prazo frente às incertezas da oferta de combustíveis de baixa ou zero emissão, nota-se uma tendência na realização de adaptações da frota por armadores para utilização de combustível de baixa ou zero emissão (7). As encomendas de navios *dual-fuel* projetados ou adaptados para operar com metanol como combustível principal (*methanol ready*) registraram crescimento expressivo em 2023, sobretudo por grandes empresas como Maersk, Cosco, CM GGM e Cargill (7). Essa tendência tem consolidado o metanol verde como um dos vetores centrais da transição na próxima década. Paralelamente, estaleiros japoneses e sul-coreanos iniciaram a entrega de navios *ammonia-ready* certificados, indicando que o setor caminha para uma diversificação de rotas tecnológicas que exigirá portos preparados para lidar com múltiplas soluções energéticas de baixo carbono.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Esses movimentos globais, quando analisados sob a perspectiva dos debates multilaterais conduzidos pela IMO, *Green Shipping Challenge* e das mais recentes rodadas das Conferências das Partes (COPs), oferecem referências e aprendizados necessários para tomada de decisão e definição de políticas brasileiras e aprimoramento de técnicas já em andamento.

Nas discussões da COP 28, COP 29 e, sobretudo, da COP 30, realizada em 2025 no Brasil, a descarbonização da navegação consolidou-se como eixo estruturante das agendas de mitigação, adaptação e financiamento climático. Na COP 28, o setor marítimo passou a ocupar uma posição com maior visibilidade no conjunto de compromissos multilaterais ao ser realizada a comunicação das atualizações dos compromissos dentro do escopo do *Green Shipping Challenge* (12) e a novos mecanismos de cooperação técnica.

Na COP 29, ampliaram-se os compromissos financeiros voltados à infraestrutura de baixo carbono em países emergentes, com destaque para a priorização de corredores verdes (*Green Shipping Corridors*) e para a expansão do financiamento climático destinado a portos resilientes.

Além da IMO, a União Europeia se consolidou como o bloco regulatório mais avançado em políticas climáticas voltadas ao transporte marítimo. O *European Green Deal*, o pacote *Fit for 55*² e o EU ETS (do inglês, *European Union Emissions Trading System*) Marítimo ampliaram exigências ambientais e introduziram o setor naval no mercado europeu de carbono. Desde 2024, navios que fazem escala em portos europeus devem adquirir créditos de carbono proporcionais às suas emissões, com escalonamento progressivo até 2027. A regulamentação *FuelEU Maritime* complementa esse arcabouço ao exigir que as embarcações reduzam, de forma progressiva, a intensidade de carbono dos combustíveis utilizados, criando incentivos diretos à adoção de metanol verde, amônia verde, hidrogênio verde e biocombustíveis avançados. Esses instrumentos, somados às metas para eletrificação portuária, aceleram a transformação tecnológica e influenciam diretamente os fluxos comerciais do Brasil, cujos principais destinos de exportação incluem mercados altamente regulados. Nesse contexto, a modernização da infraestrutura portuária e a adoção de práticas ambientais avançadas tornam-se elementos centrais para garantir competitividade e atender a exigências internacionais.

Singapura

Singapura, pequeno porto-Estado com vocação logística global, tornou-se referência incontestável no desenvolvimento de governança regulatória avançada para combustíveis alternativos. A publicação da norma técnica TR 129 para *bunkering* de metanol, em março de 2025, após experiências bem-sucedidas de abastecimento de bio-metanol e metanol em 2023–2024, estabeleceu padrão de segurança, transferência, medição e certificação de combustível já apontado como modelo replicável para portos internacionais. Paralelamente a essa norma, Singapura abriu processo de licenciamento para fornecedores de metanol como combustível marítimo, com exigências de rastreabilidade da cadeia de custódia (*chain of custody*), medição digital de qualidade e compatibilidade com normas da IMO. Essa sequência de medidas normatização técnica detalhada, licenciamento regulatório claro e integração com a infraestrutura portuária, cria um ambiente de segurança operacional que reduz incertezas para armadores e fornecedores e acelera a formação de um mercado organizado de combustíveis alternativos.

Fonte: (11,16)



² Consiste em um conjunto de medidas da União Europeia voltado a reduzir as emissões líquidas de GEE em pelo menos 55% até 2030, incluindo a extensão do mercado europeu de carbono ao transporte marítimo e regras específicas para combustíveis de baixo carbono (12).

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

No contexto da política climática nacional, foi instituído, por meio de Lei federal, o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE), que estabelece as bases para um mercado regulado de carbono no país. Embora ainda em fase de regulamentação setorial, o SBCE tende a criar um sinal de preço para emissões de GEE em atividades intensivas em energia, com potencial de influenciar decisões de investimento em logística, renovação de frota e infraestrutura portuária (17). A convergência entre exigências e a consolidação de um mercado doméstico de carbono reforça a necessidade de que o setor aquaviário brasileiro incorpore critérios climáticos nas suas estratégias de modernização.

No Brasil, a transição energética na Cabotagem e Navegação interior avança em um arcabouço regulatório que combina políticas nacionais, instrumentos setoriais e projetos em desenvolvimento.

O Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR) lidera o alinhamento federativo e o planejamento estratégico de longo prazo, articulando políticas industriais e ambientais que viabilizam o uso de energia limpa e a adoção de sistemas de gestão inteligente da rede elétrica (*smart grids*) nos principais portos. Ao coordenar iniciativas de corredores verdes nacionais e internacionais, o MPOR fomenta, em cooperação com estados e municípios, a formação de hubs energéticos regionais e a integração com cadeias industriais de baixo carbono.

A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) atua de modo decisivo para consolidar critérios de sustentabilidade e eficiência ambiental em sua agenda regulatória. Modernizando o processo de outorga de concessões e a fiscalização de terminais e empresas, institucionalizando instrumentos para avaliar o desempenho ambiental de embarcações e operadores, que também serve de referência para linhas de financiamento climático. A agenda regulatória anual inclui exigências crescentes de inventários de emissões, planos de eficiência energética e metas de redução de impactos ambientais em contratos e planos de desenvolvimento portuário, abrindo espaço para chamadas públicas e projetos-piloto de eletrificação, combustíveis alternativos e digitalização.

A Lei nº 14.301/2022, que instituiu o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem (BR do Mar), modernizou regras de afretamento, ampliou a possibilidade de utilização de embarcações estrangeiras afretadas por Empresas Brasileiras de Navegação e redefiniu o uso de recursos do AFRMM, com o objetivo de ampliar a oferta de frota, aumentar a concorrência e reduzir custos logísticos. Combinados com a ampliação de terminais dedicados, o desenvolvimento de serviços porta-a-porta integrados a rodovias e ferrovias e a adoção gradual de soluções tecnológicas de controle operacional e eficiência energética, esses movimentos regulatórios têm fortalecido o papel da cabotagem como componente estratégico da matriz de transportes, ainda que sua participação permaneça aquém do potencial associado à extensão da costa brasileira e ao volume de cargas passíveis de migração do rodoviário.

A partir de consulta pública realizada no contexto da COP 30, passou a incorporar critérios específicos para embarcações sustentáveis. Para isso, propôs-se que a M.A.R.E.S. seja referência central. Esse instrumento define critérios objetivos de desempenho ambiental, social e operacional, resultando em uma pontuação para cada embarcação, que só poderá navegar no Brasil se obtiver a pontuação mínima estabelecida. A adoção dessa estratégia aproxima o país de modelos utilizados em mercados regulados e cria um padrão nacional de embarcações sustentáveis.

Em paralelo, foi lançado o IDA-Navegação, indicador abrangente para avaliar práticas ambientais na navegação interior e costeira, que incorpora parâmetros de emissões, governança, qualificação e inovação, permitindo medir, comparar e incentivar boas práticas. Do ponto de vista metodológico, o IDA-Navegação foi concebido pela ANTAQ, em cooperação com o CEFTRU/UnB, a partir de uma abordagem de análise multicritério baseada no método AHP (Analytic Hierarchy Process). A construção do índice envolveu a seleção de indicadores a partir de literatura técnica, legislação ambiental aplicável e boas práticas observadas em portos no Brasil e no exterior, seguida da atribuição de pesos relativos à importância de cada aspecto, com participação de gestores ambientais de cerca de 30 portos organizados. O resultado é uma ferramenta que consolida dezenas de indicadores em uma escala única de desempenho ambiental, permitindo acompanhar a evolução dos portos e terminais, comparar processos de gestão, identificar pontos críticos e apoiar tanto a regulação quanto as decisões de investimento público e privado.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Nos últimos anos, a ANTAQ tem promovido uma atualização gradual do IDA para incorporá-lo de forma mais explícita à agenda de mudanças climáticas, descarbonização e ESG. Em 2025, a Agência celebrou termo de cooperação com a Universidade Federal Fluminense (UFF) para revisar e atualizar os índices aplicados a portos públicos e TUP, com o objetivo de incluir novos parâmetros associados a emissões de GEE, resiliência climática e aspectos sociais, bem como para publicar um manual consolidado com a metodologia revista.

As quatro dimensões estruturantes do IDA e do IDA-Navegação aprofundam a lógica de avaliação típica de índices ESG, mas adaptadas à realidade portuária e aquaviária.



A dimensão ambiental vai além de um simples inventário de emissões, incorporando conformidade com licenciamento e monitoramento ambiental, planos de contingência, controle de poluição hídrica, atmosférica e sonora, gestão de resíduos, dragagem e disposição adequada de material dragado, uso eficiente de água e energia e oferta de energia elétrica para embarcações atracadas (OPS), entre outros aspectos.



A dimensão social contempla indicadores ligados à segurança e à saúde de trabalhadores e comunidades do entorno, programas de educação ambiental, ações de promoção da saúde e gestão de riscos ocupacionais.



A dimensão de governança avalia a existência e a robustez de núcleos ambientais, a realização de auditorias, a qualidade dos sistemas de gestão, o atendimento à legislação e a transparência na comunicação de impactos e ações.



Dimensão de prosperidade econômica conecta sustentabilidade e competitividade, medindo como a modernização tecnológica, a inovação, a eficiência operacional e o uso racional de recursos se traduzem em ganhos de desempenho logístico e redução de custos no longo prazo.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

A ANTAQ também desempenha papel central no processo de modernização de instalações portuárias, com avanços na integração entre eficiência logística, sustentabilidade e padronização de indicadores, ampliando requisitos de monitoramento ambiental, gestão de resíduos e conformidade regulatória. Por meio de sua atuação regulatória, incluindo processos de outorga e instrumentos contratuais de concessão e arrendamento, a ANTAQ pode incorporar critérios ambientais e energéticos de forma estruturada, por meio da definição de metas com base no IDA e o IDA-Navegação. Dessa forma, é possível condicionar incentivos e orientar a priorização de investimentos, incluindo, por exemplo, a previsão de obrigações contratuais relacionadas à eficiência energética, à adoção de tecnologias menos emissoras, à gestão adequada de resíduos e à elaboração de planos de descarbonização. Assim, os incentivos econômicos estarão alinhados às metas de redução de emissões e à transição para uma logística de baixo carbono.

A articulação entre BR do Mar, M.A.R.E.S. e IDA-Navegação se traduz em instrumentos regulatórios concretos os compromissos assumidos pelo país na COP 30, dando robustez a governança nacional e fornecendo métricas para orientar investimentos, atrair financiamentos verdes e alinhar operadores às melhores referências internacionais.

Durante a COP 30, em Belém, o Ministério de Portos e Aeroportos deu um passo adicional ao lançar o Programa Nacional de Descarbonização de Portos (PND-Portos) e o Programa Nacional de Descarbonização da Navegação (PND-Navegação). Os programas têm como objetivo reduzir emissões de GEE do modo aquaviário, promover a eficiência energética e modernizar portos e hidrovias, alinhando a política setorial brasileira aos compromissos climáticos internacionais. Entre as linhas de atuação anunciadas estão o apoio à implantação de sistemas de fornecimento de energia elétrica em terra (OPS), a eletrificação de equipamentos portuários, o estímulo a projetos de combustíveis alternativos como hidrogênio de baixo carbono e e-combustíveis, a qualificação de mão de obra e a criação de instrumentos de financiamento para projetos de descarbonização, em articulação com outros órgãos federais e bancos públicos.

O Plano Nacional de Logística (PNL 2035) é hoje o principal instrumento de planejamento de longo prazo da rede de transportes brasileira, elaborado pela Infra S.A. com base em uma abordagem intermodal e em cenários de demanda e oferta até 2035. O plano incorporou cenários de emissões de GEE e diretrizes de sustentabilidade, indicando que a transformação da matriz de transportes passa por uma participação maior da navegação interior e da cabotagem, em conjunto com o modo ferroviário, como estratégia para reduzir custos logísticos e diminuir as emissões do setor em relação ao cenário de referência.

As diretrizes da Estratégia Nacional do Hidrogênio (ENH2), operacionalizadas pelo Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) e por seu Plano Trienal 2023 –2025, complementam esse ambiente regulatório ao definir prioridades e orientar investimentos para produção, uso interno e exportação de hidrogênio de baixa emissão de carbono. Estruturada em eixos que incluem regulação, infraestrutura, tecnologia, capacitação e mercado, essa estratégia visa posicionar o Brasil como um dos principais produtores mundiais de hidrogênio de baixo carbono até 2035, com projetos ancorados em complexos industriais e portuários voltados à produção, armazenagem e escoamento de hidrogênio, amônia e outros e-combustíveis. Nesse contexto, aplicações potenciais na navegação e no abastecimento portuário ganham relevância, ao criar sinergias entre a política de hidrogênio e a descarbonização do setor aquaviário. O seu uso e de seus derivados podem ser direcionados, por exemplo, em rebocadores, empurradores, embarcações de apoio e infraestrutura de *bunkering* em complexos industriais-portuários.

Apesar dos avanços, o país ainda enfrenta desafios para consolidar uma política integrada de transição energética para o setor. A ausência de diretrizes nacionais específicas para infraestrutura de combustíveis alternativos, a necessidade de padronização técnica para OPS, a necessidade de metodologias consolidadas para inventários de emissões, sobretudo no Escopo 3, e a limitação de incentivos econômicos para modernização da frota são fatores que restringem a velocidade da descarbonização.

A heterogeneidade da infraestrutura hidroviária e portuária também cria assimetrias regionais, dificultando a implementação uniforme de tecnologias e exigindo planejamento contínuo e coordenação entre União, estados e iniciativa privada. A ampliação do acesso a financiamentos climáticos, a criação de instrumentos fiscais específicos e o alinhamento entre padrões nacionais e internacionais de certificação ambiental são, nesse sentido, caminhos que podem acelerar a adoção de tecnologias limpas e impulsionar projetos de eletrificação, hibridização e combustíveis alternativos.

A modernização regulatória está diretamente relacionada com o desenvolvimento tecnológico. Os avanços em eficiência energética, por meio de otimização de rotas, *retrofit* de motores, melhorias hidrodinâmicas e sistemas de gestão energética, constituem o primeiro passo para redução de emissões. A eletrificação e a hibridização, por sua vez, já representam soluções viáveis para rebocadores, *ferries*, empurradores e equipamentos portuários, contribuindo para a qualidade do ar, redução de ruído e maior eficiência operacional. A digitalização, ao integrar informações ambientais, hidrológicas e logísticas, permite otimizar velocidades, reduzir tempos de fundeio e aprimorar previsibilidade. Esses elementos são fundamentais para a redução das emissões e maior competitividade.

A transição energética também depende da diversificação da matriz de combustíveis marítimos. Metanol verde, amônia verde, hidrogênio verde e biocombustíveis avançados se consolidam como alternativas complementares, em estágios distintos de maturidade tecnológica e com exigências regulatórias específicas. Um marco recente nessa direção foi a decisão da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de autorizar, em caráter permanente, a comercialização de óleo combustível marítimo (bunker) com até 24% de biodiesel — a mistura B24 — após testes realizados entre 2022 e 2024 que demonstraram redução nas emissões de gases de efeito estufa sem comprometer a operação dos motores das embarcações. Essa autorização sinaliza um caminho de transição no curto e médio prazo, combinando combustíveis fósseis com conteúdo renovável, ao mesmo tempo em que o país estrutura projetos para produção e uso de combustíveis totalmente renováveis, como o hidrogênio e seus derivados, e cria um arcabouço regulatório que permite testar, em condições reais de operação, instrumentos econômicos e técnicos para descarbonização gradual da frota.

O Brasil, por reunir uma matriz elétrica predominantemente limpa, forte base agroindustrial e elevado potencial para produção de hidrogênio de baixo carbono, encontra condições excepcionais para ocupar posição estratégica na cadeia internacional de combustíveis sustentáveis. Nesse contexto, políticas nacionais voltadas à certificação, padronização técnica, desenvolvimento de zonas industriais portuárias e integração com investimentos privados podem consolidar hubs energéticos capazes de abastecer embarcações domésticas e internacionais, além de atrair operadores e armadores alinhados às metas globais de descarbonização.

O Brasil, ao participar de iniciativas internacionais lançadas na COP 30, busca desenvolver seus próprios corredores verdes em escala piloto, articulando cadeias de exportação intensivas em transporte marítimo com hubs energéticos emergentes, atraindo investimentos e consolidando projetos de transição energética.

No campo da cooperação internacional, destaca-se a parceria estabelecida entre o Porto do Açu e o Porto de Antuérpia-Bruges, um dos principais hubs europeus de energia e hidrogênio verde. Em novembro de 2025, os dois portos assinaram carta de intenções para desenvolver um corredor marítimo verde de e-combustíveis entre Brasil e Europa, com previsão de início de operações antes de 2030 (18,19,20). O projeto prevê a estruturação de cadeias de suprimento para hidrogênio de baixo carbono, amônia e outros e-combustíveis, bem como cooperação em digitalização, monitoramento de emissões e infraestrutura portuária dedicada a combustíveis alternativos. Ao posicionar o Brasil como fornecedor relevante de energias de baixo carbono para o mercado europeu, essa iniciativa funciona como um dos primeiros passos concretos para inserir o país em redes globais de *Green Shipping Corridors*, reforçando a importância de alinhar a regulação doméstica, os investimentos portuários e a qualificação da frota às exigências desses corredores.

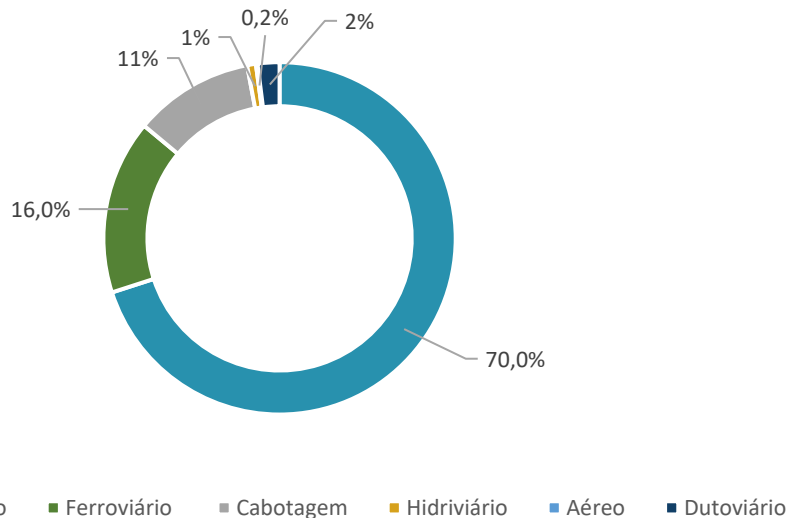
Assim, o marco regulatório nacional, em diálogo com normas internacionais, oferece ao Brasil uma oportunidade de reposicionar a logística aquaviária em direção a um modelo de eficiência, resiliência e baixo carbono. A combinação entre instrumentos regulatórios, planejamento integrado, digitalização, combustíveis alternativos e governança ambiental avançada permite ao país alinhar suas políticas às tendências globais, fortalecer sua competitividade logística e preparar o setor aquaviário para uma década marcada por exigências ambientais crescentes e por oportunidades estratégicas de posicionamento internacional.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Consumo Energético e Eficiência Energética do modo Aquaviário

A matriz de demanda energética contabiliza apenas a demanda doméstica e, por isso, são considerados, quando se trata do modo aquaviário, os consumos do transporte da navegação interior e cabotagem. No setor de transportes, os dados compilados para o planejamento logístico nacional mostram que o Brasil ainda apresenta forte predominância do modo rodoviário.

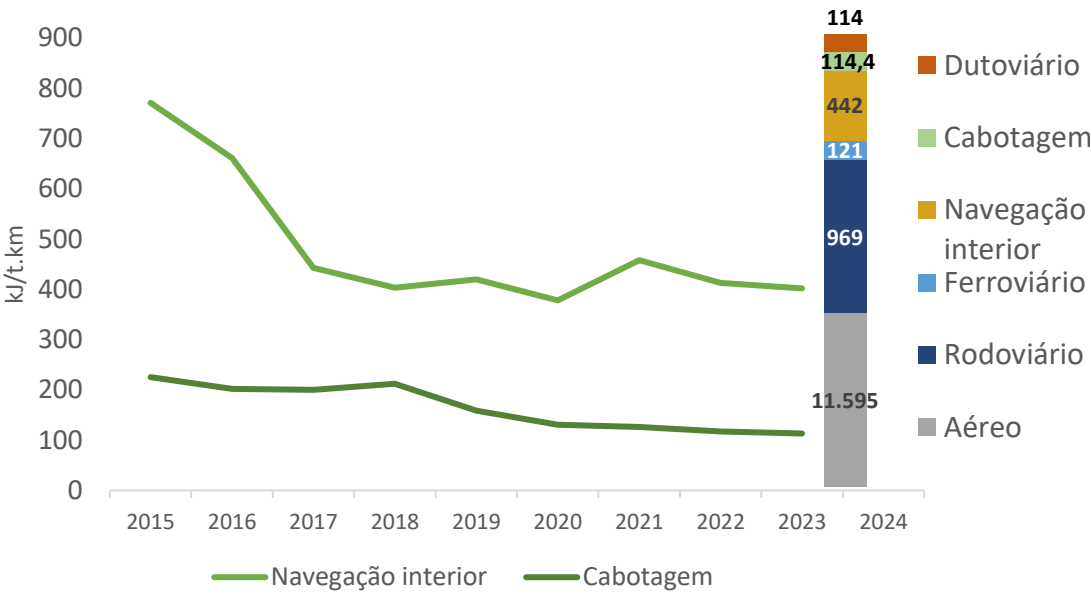
Gráfico 1: Divisão Modal - 2024



Fonte: Observatório de Sustentabilidade em Mobilidade e Logística (21)

Apesar de alta participação na movimentação de cargas, o modo rodoviário apresenta maior consumo de energia. Se analisada a Intensidade Energética (IE), apresentada no Gráfico 2, dos diferentes modos de transporte de carga domésticos, pode-se concluir que a cabotagem é o modo mais eficiente, com exceção do dutoviário. Isso aponta para a necessidade de transferência modal para atingir maior equilíbrio da matriz de divisão modal e aumento da eficiência energética do setor.

Gráfico 2: Histórico da Intensidade Energética do modo aquaviário de Cabotagem e Navegação Interior e dos diferentes modos de transporte, em 2024



Fonte: Elaborado com base em (22)

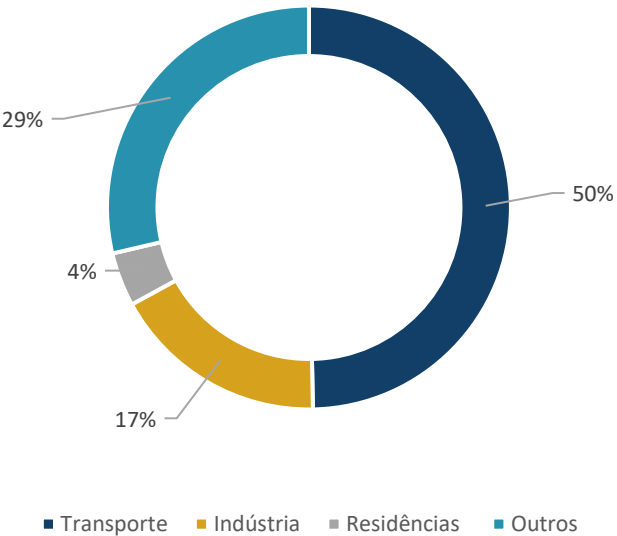
Portanto, combinação de uma matriz desequilibrada e modos de transporte com baixa eficiência energética resulta em altas emissões pelo setor. Isso explica por que o transporte rodoviário é o principal responsável pelas emissões do setor, ele consome mais diesel por t.km, emitindo mais CO₂ por unidade de carga transportada do que os demais modos.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Emissões de Gases de Efeito Estufa pelo modo Aquaviário e impactos das ameaças da mudança do clima

De acordo com o Balanço Energético Nacional 2025 (23), o setor de transportes, em 2024, respondeu por 50% das emissões de dióxido de carbono associadas ao uso de energia no Brasil, posicionando o setor como o principal foco da agenda de descarbonização energética nacional.

Gráfico 3: Emissões de GEE dos setores da economia



Fonte: Balanço Energético Nacional (2025)

Em termos absolutos, estimativas do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) indicam que, em 2022, o setor de transporte emitiu aproximadamente 217 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂e), dentro de um total de cerca de 2,3 bilhões de toneladas brutas no país (24). Esses números ajudam a dimensionar o desafio da redução de emissões no setor de energia, em que se insere o transporte, e que passa, necessariamente, por uma transformação profunda da forma como pessoas e cargas se deslocam no território nacional.

Estudos baseados em fatores de emissão e consumo de combustível indicam que, para o transporte de carga, o modo rodoviário emite, em média, entre 50 e 60 kg de CO₂ por mil TKU, enquanto o ferroviário opera em uma faixa típica de 8–25 kg de CO₂ por mil TKU, a cabotagem em torno de 4–9 kg de CO₂ por mil TKU e o hidroviário interior em patamares ainda menores, próximos de 3–7 kg de CO₂ por mil TKU, a depender do tipo de carga. Em termos simples, isso significa que, para a mesma quantidade de carga e distância, o transporte rodoviário pode emitir entre 6 e 13 vezes mais CO₂ que a cabotagem e entre 7 e 22 vezes mais que o hidroviário, reforçando o potencial de mitigação associado à reconfiguração da matriz de transportes em direção ao modo aquaviário e à ferrovia (25).

Do ponto de vista climático, a urgência dessa transição está ligada ao esforço global de limitar o aquecimento a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais, conforme sintetizado pelo IPCC e pelos relatórios mais recentes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Sendo assim, para que esse limite seja viável, as emissões globais precisariam atingir um pico antes de 2025 e cair cerca de 43% até 2030, com reduções rápidas em todos os setores.

Em paralelo, cresce a evidência de que eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, inundações e alagamento mais intensos e tempestades costeiras afetam diretamente a operação de portos, estaleiros e hidrovias, seja pela redução de calado e interrupção da navegabilidade, seja pelo aumento de riscos operacionais nas áreas costeiras. Estudos e publicações recentes do Observatório Nacional de Transporte e Logística - ONTL/Infra S.A. (26,27,28,29) reforçam que incorporar medidas de adaptação às mudanças do clima ao planejamento da infraestrutura é necessário para tornar o sistema de movimentação de cargas mais resiliente, preservando a confiabilidade da logística aquaviária no Brasil.

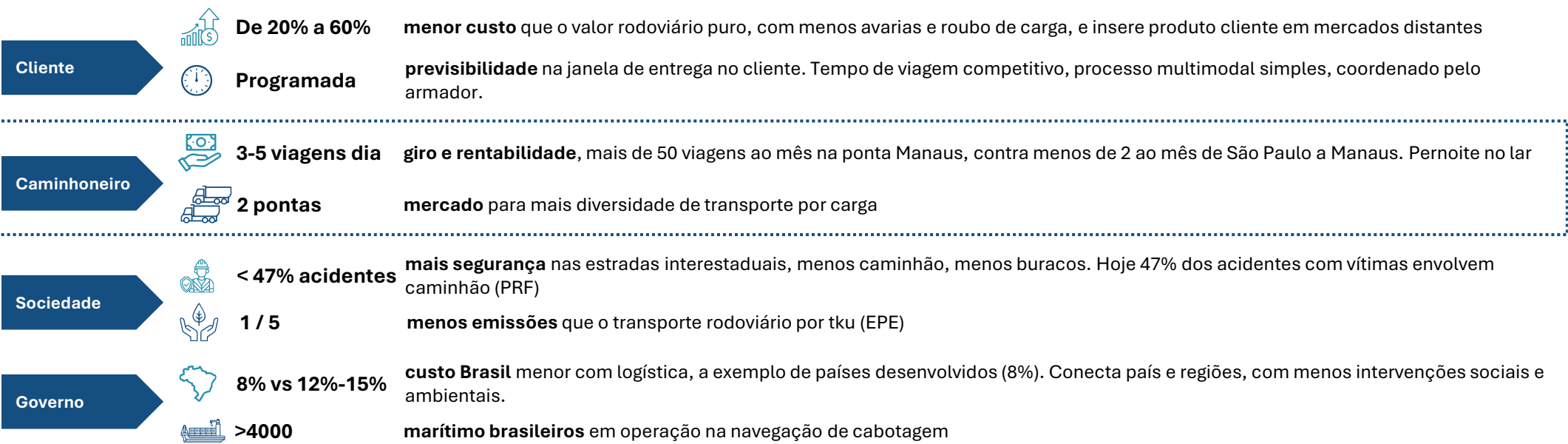
PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

A navegação interior, com destaque para a região Amazônica, constitui a espinha dorsal da circulação fluvial nacional. Estima-se que mais de 70% de toda a movimentação hidroviária brasileira ocorra na bacia amazônica, evidenciando sua importância social, logística e energética (30). A disponibilidade natural de hidrovias navegáveis cria um ambiente favorável à ampliação do modo, embora diferentes bacias apresentem condições operacionais diversas. Enquanto a Amazônia dispõe de longos trechos com navegabilidade permanente, sistemas como Tietê-Paraná enfrentam períodos de redução de calado provocados por variações hidrológicas, reforçando a necessidade de estratégias permanentes de adaptação e de aumento da resiliência operacional, tema amplamente discutido na COP 30 e cada vez mais presente nas agendas nacionais de planejamento hidroviário e estruturação de concessões.

Do ponto de vista logístico e energético, o Brasil reúne um conjunto raro de vantagens estruturais. Em 2024, o modo aquaviário bateu recordes de movimentação, com crescimento contínuo tanto na navegação interior quanto na cabotagem. Ao mesmo tempo, o Balanço Energético Nacional 2025 indica que a matriz elétrica brasileira alcançou cerca de 88,2% de participação de fontes renováveis em 2024, enquanto a matriz energética total chegou a 50% de renovabilidade, percentuais muito superiores à média global (23). Essa combinação de hidrovias extensas, forte dependência do transporte marítimo na movimentação de carga do comércio exterior e disponibilidade de eletricidade limpa cria condições particularmente favoráveis à expansão de estratégias de redução de emissões em complexos como Santos, Suape, Pecém, Itaquí e Açu.

Na cabotagem, observa-se trajetória consistente de expansão, especialmente no transporte de contêineres e grãos líquidos. A Edição recente do Boletim de Logística da Infra S.A. (31) indica que, em 2024, a cabotagem respondeu por 16,6% do total movimentado pelo setor aquaviário brasileiro, com 213,1 milhões de toneladas transportadas, mantendo a sequência de recordes observada em 2022 e 2023.

Figura 3: Benefícios da integração multimodal com cabotagem



Fonte: Marsalgado Brasil (2025).

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

No comércio exterior, o aquaviário mantém posição hegemônica apresentando mais de 95% do volume exportado e importado pelo Brasil escoado por via marítima de longo curso, sobretudo no transporte de grãos agrícolas e minerais (32). Esse predomínio decorre da geografia econômica do país, que figura como grande produtor e exportador de *commodities* de alto volume e baixo valor agregado por tonelada, que exigem transporte em massa a longas distâncias.

O perfil de emissões do setor aquaviário brasileiro reflete a diversidade de operações, frota e infraestrutura. As emissões concentram-se em GEE, sobretudo o dióxido de carbono (CO₂), e metano (CH₄), e poluentes atmosféricos, como a emissão de óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x) e material particulado (MP). Essas emissões no modo aquaviário são resultantes predominantemente do uso de óleo diesel marítimo e óleo combustível.

Atualmente, iniciativas de mistura de biodiesel ao óleo diesel marítimo foram levantadas pela Petrobras, e autorizadas pela ANP, em uma proporção de 24% de biodiesel (33), e pela Vibra, testes estão sendo realizados para produção e comercialização de óleo diesel marítimo com mistura de 30% de biodiesel, tendo sido anunciada a comercialização para a empresa Dinamarquesa Svitzer (34), sem autorização para comercialização no Brasil. Nesse contexto, uma análise econômico-financeira da mistura do biodiesel permitiria verificar os impactos nos custos operacionais.

Nos portos, parte significativa das emissões totais de GEE estão associadas a navios em manobra ou atracados, enquanto equipamentos de pátio e veículos internos, ainda que com menor contribuição de emissão o dióxido de carbono (CO₂) (35,36,37,38), também contribuem nas emissões de poluentes atmosféricos junto àquelas emitidas durante entrada, estadia e saída das embarcações nos portos, com ação local, como óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP), impactando na qualidade do ar (5,39).

Apesar desse peso estratégico, diagnósticos recentes indicam que a adaptação climática e energética dos portos brasileiros ainda se encontra em estágio desigual. Estudo coordenado pela ANTAQ, em cooperação com a agência de cooperação alemã GIZ (35), avaliou o nível de preparação das infraestruturas portuárias para receber embarcações de baixo carbono, eletrificar equipamentos e implantar sistemas de *Onshore Power Supply* (OPS) e projetos de hidrogênio verde e derivados. O levantamento mostra que apenas um conjunto restrito de instalações, com destaque para Itaqui, Pecém, Paranaguá, Santos e o Porto do Açu, reúne, simultaneamente, bom desempenho no Índice de Desempenho Ambiental (IDA), planos de descarbonização em elaboração ou já concluídos e iniciativas em energias renováveis e combustíveis alternativos. A maioria dos portos permanece em fases iniciais de planejamento, com projetos ainda em estruturação ou restritos a pilotos pontuais.

O mesmo estudo e consultas conduzidos pela ANTAQ evidenciam como barreiras internas a falta de capacitação técnica específica em descarbonização, incertezas sobre a forma de coleta e consolidação de dados de emissões, equipes reduzidas para tratar de temas ambientais, restrições orçamentárias e elevados custos de implantação de tecnologias como OPS, eletrificação de equipamentos e infraestrutura para hidrogênio de baixo carbono. Somam-se a isso desafios de mercado como a oferta limitada de combustíveis menos poluentes e a necessidade de maior previsibilidade da demanda, bem como obstáculos regulatórios e burocráticos (40). Em resposta, a agência vem propondo a ampliação dos inventários setoriais de emissões, o reforço de questões climáticas no formulário do IDA, a criação de mecanismos indutores para sistemas OPS e a estruturação de fóruns nacionais voltados à descarbonização portuária, o que reforça a necessidade de acelerar a maturidade ambiental dos portos e terminais brasileiros.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO

Em paralelo aos inventários corporativos com base no GHG Protocol, o Brasil avança na construção de uma base setorial pública para o monitoramento de emissões no transporte aquaviário. A ANTAQ lançou, em 2025, o primeiro Inventário de Gases de Efeito Estufa do setor aquaviário (11), cobrindo o período de 2021 a 2023, com foco inicial na cabotagem e na navegação interior. Os dados indicam uma redução de 7,68% nas emissões de carbono nesse intervalo, resultado associado sobretudo à diminuição do consumo de óleo combustível mais carbono-intensivo. O inventário foi apresentado em fóruns internacionais, como a reunião ministerial de transportes dos BRICS, e deu origem a um painel interativo que permite acompanhar a evolução das emissões por tipo de navegação, configurando um marco importante para o alinhamento do setor às melhores práticas globais de transparência climática.

Em 2025, a agência aprovou o início do segundo ciclo de pesquisas, com ampliação da coleta de dados diretamente em portos, terminais e Empresas Brasileiras de Navegação. Essa etapa tende a aproximar os inventários nacionais de uma visão mais completa de Escopo 3, ao incluir emissões associadas a navios em operação, acessos terrestres e cadeias de suprimento de combustíveis, além de permitir rankings e indicadores de eficiência carbônica por segmento.

A navegação interior apresenta particularidades importantes, apresentando em trechos extensos uma idade média da frota frequentemente acima de 25 anos, impactando na eficiência energética e no aumento emissões por tonelada transportada. Barreiras como ausência de motores modernos, restrições hidrológicas sazonais e baixa infraestrutura de apoio dificultam a adoção de combustíveis alternativos e tecnologias híbridas, embora existam oportunidades crescentes em bacias estratégicas. No apoio portuário, rebocadores e embarcações de serviço continuam dependentes de diesel, concentrando emissões em áreas urbanas densas, o que reforça a necessidade de modernização tecnológica e incentivos regionais, tema discutido em programas ambientais municipais e estaduais.

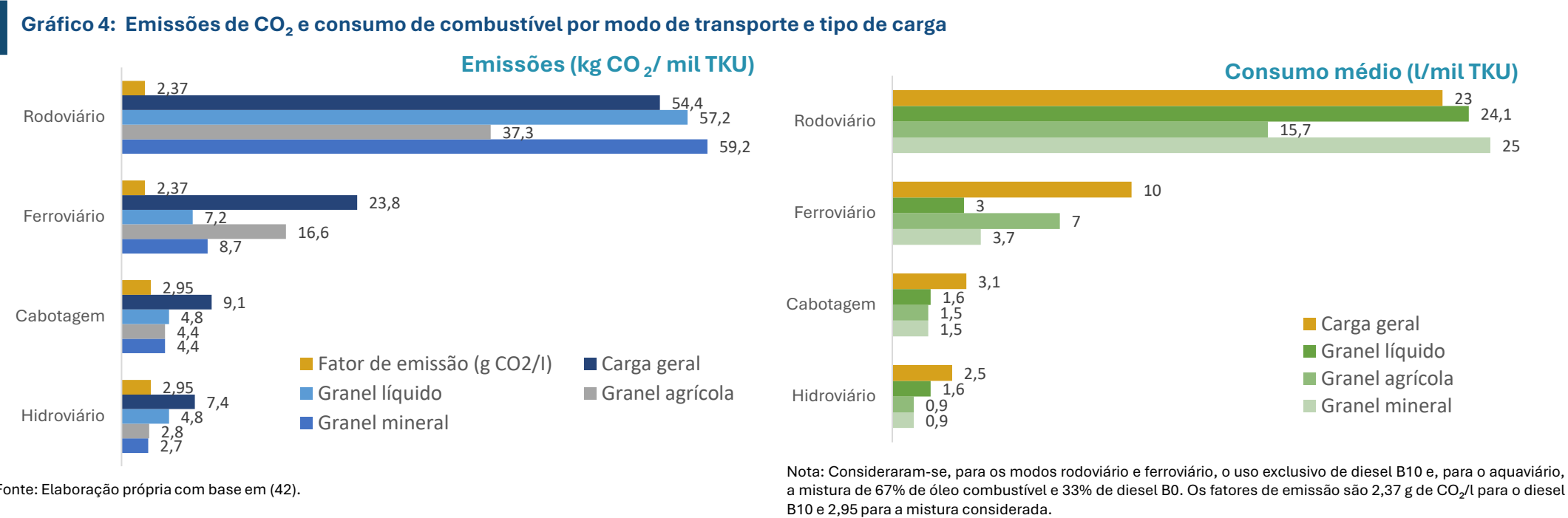
Apesar da expansão na elaboração de inventários de emissões, ainda há assimetrias. A adoção do GHG Protocol³ pelas administrações portuárias representa avanço importante, mas a cobertura do Escopo 3 permanece limitada. Esse escopo reúne as emissões indiretas, vinculadas a atividades que não estão sob controle direto da autoridade portuária, como operações de navios que atracam no porto, acessos terrestres, cadeia de suprimentos e destinação de resíduos, e em Terminais de Containers, por exemplo, pode responder por 70% a 90% das emissões totais (41). A ausência de fatores de emissão específicos para embarcações fluviais e de bases integradas com dados de frota, potência, consumo e perfil operacional é outro fator que dificulta análises mais precisas.

Nesse contexto, Infra S.A. e ANTAQ vêm atuando de forma complementar na padronização de indicadores e metodologias de emissões no setor aquaviário. A ANTAQ utiliza os resultados dos inventários setoriais para qualificar o diálogo regulatório com portos, terminais e Empresas Brasileiras de Navegação e para incorporar, de forma gradual, parâmetros climáticos e de eficiência energética em suas agendas ambientais. A Infra S.A., por sua vez, vem incorporando estimativas de emissões por modo de transporte e por fluxos logísticos em estudos e boletins, utilizando metodologias harmonizadas com o GHG Protocol. Nesse mesmo sentido, o IDA-Navegação oferece uma base mais robusta para aperfeiçoar, no futuro, os próprios inventários setoriais e os instrumentos de planejamento da infraestrutura.

Quando comparados a outros modos na matriz de transportes doméstica, os fatores de emissão por tonelada-quilômetro indicam que o transporte hidroviário interior e a cabotagem apresentam significativa vantagem ambiental frente ao rodoviário e, em muitas situações, desempenho comparável ou superior ao ferroviário. Em rotas de grande escala, especialmente no transporte de grãos sólidos e líquidos, esses segmentos do modo aquaviário conseguem combinar menores emissões específicas com elevada eficiência energética, reforçando seu potencial como eixo estruturante de uma matriz de transportes de baixo carbono.

³ Metodologia internacionalmente utilizada para contabilizar emissões de gases de efeito estufa em três categorias (Escopos 1, 2 e 3), abrangendo emissões diretas, emissões associadas ao consumo de energia e emissões indiretas ao longo da cadeia de valor.

PANORAMA ATUAL E EMISSÕES DO MODO AQUAVIÁRIO



A navegação de longo curso, por sua vez, não concorre diretamente com o rodoviário ou ferroviário dentro da matriz interna, mas reforça a importância de portos e terminais com menor pegada de carbono nas cadeias exportadoras. Entretanto, gargalos de infraestrutura como limitações de dragagem, calado, sinalização e ausência de sistemas de fornecimento de energia elétrica às embarcações atracadas (OPS) reduzem parte desse potencial. A superação desses desafios, destacada no Plano Integrado de Hidrovias da Infra S.A. e nas discussões estratégicas da COP 30, poderá ampliar significativamente a competitividade ambiental do transporte hidroviário e da cabotagem no país.

Apesar dos progressos, o diagnóstico setorial ainda revela desafios estruturais que limitam a velocidade da transição energética. A modernização da infraestrutura portuária é heterogênea: poucos portos combinam bom desempenho ambiental, projetos de eletrificação e iniciativas em energias renováveis, enquanto a maior parte ainda se encontra em estágios iniciais de planejamento.

Esse conjunto de restrições reforça a importância de políticas de longo prazo, maior integração entre os marcos regulatórios, mecanismos de financiamento adequados e fortalecimento da capacidade institucional em portos, hidrovias e empresas de navegação, temas que vêm ganhando espaço em estudos da Infra S.A., em iniciativas regulatórias da ANTAQ e nas discussões do Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR) em fóruns nacionais e internacionais sobre descarbonização do transporte.

A combinação entre avanços recentes, planejamento integrado e cooperação internacional coloca o Brasil em posição favorável para ampliar o papel energeticamente eficiente da navegação interior e da cabotagem na matriz de transportes doméstica, bem como qualificar a inserção da navegação de longo curso nas cadeias exportadoras de baixo carbono. Ao mesmo tempo, cria condições para acelerar a difusão de inovação tecnológica, fortalecer a competitividade global das cadeias logísticas brasileiras e consolidar uma trajetória de transição alinhada às melhores práticas internacionais.

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

A descarbonização do transporte aquaviário brasileiro avança direcionada por Políticas e regulamentações que buscam alcançar as metas internas e alinhamento com as metas de descarbonização internacionais. As estratégias de descarbonização podem ser divididas em medidas econômicas, de digitalização; tecnológicas, energéticas, de infraestrutura e operacional. A interrelação desses elementos define o ritmo e o alcance da transição. Nesse contexto, a renovação da frota e a modernização energética é imperativo climático e condição logística, estratégica e reputacional.

Dimensão Estratégica	Ação de Descarbonização (Boa Prática)	Status Nacional	Abrangência / Contexto de Aplicação	Principais Atores / Responsáveis
Governança	Implementação do Índice de Desempenho Ambiental da Navegação (IDA-Navegação): monitoramento 39 indicadores ambientais, sociais e econômicos	Amplamente adotada	Operadores de navegação interior e costeira	MPOR, Infra S.A. e ANTAQ
	Matriz de Avaliação de Requisitos de Embarcações Sustentáveis (M.A.R.E.S.) - Classificação de sustentabilidade para renovação tecnológica da frota	Amplamente adotada	Classificação de embarcações na política BR do Mar	Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR)
	Adoção de metas globais de redução absoluta de emissões (-20% até 2030; -70% até 2040) e emissões líquidas zero até 2050	Amplamente adotada	Planejamento estratégico e regulação de frota	Organização Marítima Internacional (IMO)
	Certificações de Sustentabilidade com a adoção de normas ISO de Gestão Ambiental e certificação OEA	Parcialmente adotada	Gestão socioambiental portuária	Porto de Itaquí (EMAP)
	Financiamento Verde: Emissão de Títulos Verdes (Green Bonds), Debêntures Incentivadas e criação de Fundo Verde	Parcialmente adotada	Financiamento de infraestrutura portuária e logística. Fundo para os Oceanos (Europa) visa aumentar a eficiência energética dos navios e investimentos em tecnologias e infraestrutura para descarbonização do setor de transportes marítimos.	Bancos multilaterais e terminais privados; Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal)
Econômica	Inclusão do transporte marítimo no Mercado de Carbono (EU ETS Marítimo)	Não adotada	Navios em escala em portos europeus	União Europeia (UE)
	Implementação do mecanismo de ajuste de carbono na fronteira (CBAM)	Não adotada	Cadeias exportadoras (minério, soja, celulose)	União Europeia e mercados regulados
	Tarifas portuárias diferenciadas por desempenho ambiental	Não adotada	Estímulo ao uso de Shore Power e combustíveis limpos	Portos de Vancouver e Hamburgo
Digitalização	Telemetria e sensores embarcados para monitoramento de consumo e emissões	Parcialmente adotada	Gestão de frotas fluviais e de apoio portuário	Wilson Sons e operadores na Bacia Amazônica

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Dimensão Estratégica	Ação de Descarbonização (Boa Prática)	Status Nacional	Abrangência / Contexto de Aplicação	Principais Atores / Responsáveis
Digitalização	Sincronização <i>Just-in-Time Arrival</i> (JIT Arrival) para velocidade e disponibilidade de cais	Parcialmente adotada	Redução de tempo de fundeio e espera de navios	IMO e grandes terminais automatizados
	Softwares de roteamento inteligente e previsão hidrológica em tempo real	Parcialmente adotada	Otimização de viagens em regimes hidrológicos extremos	Universidades Federais e ONGs na Amazônia
	Digital <i>Twins</i> e integração de <i>Smart Grids</i> portuárias para integração digital	Parcialmente adotada	Gestão de eficiência energética e logística portuária	Portos de Santos e Antuérpia-Bruges
	Sincronização <i>Just-in-Time Arrival</i> (JIT Arrival) para velocidade e disponibilidade de cais	Parcialmente adotada	Redução de tempo de fundeio e espera de navios	IMO e grandes terminais automatizados
	Softwares de roteamento inteligente e previsão hidrológica em tempo real	Parcialmente adotada	Otimização de viagens em regimes hidrológicos extremos	Universidades Federais e ONGs na Amazônia
Tecnológica	Eletrificação de RTGs, portêineres e empilhadeiras de pátio	Parcialmente adotada	Operações de movimentação de carga em terminais	DP World, Santos Brasil e Tecon Rio Grande
	Rebocadores e embarcações de serviço com propulsão híbrida	Parcialmente adotada	Apoio portuário com redução de combustível fóssil	Wilson Sons
	Embarcações solares e elétricas com cascos de compósitos leves	Parcialmente adotada	Transporte fluvial social e ribeirinho (Amazônia)	Universidades Federais e agências estaduais
	Navios preparados para novos combustíveis (<i>Methanol-ready</i> e <i>Ammonia-ready</i>)	Parcialmente adotada	Renovação da frota de longo curso e cabotagem	Estaleiros asiáticos e armadores internacionais
	Otimização hidrodinâmica por meio de revestimentos <i>antifouling</i> e hélices otimizadas	Parcialmente adotada	Redução da resistência ao avanço e consumo	Estaleiros e operadores de frotas modernas
Energética	Uso de biocombustíveis avançados certificados (HVO, B24)	Parcialmente adotada	Navegação interior, cabotagem e apoio portuário	Hidroviás do Brasil e Corredores Mercosul
	Geração fotovoltaica local para autoconsumo portuário	Parcialmente adotada	Redução da pegada de carbono das instalações	Portos de Itaqui, Paranaguá e Rio Grande
	Desenvolvimento de Hubs de Hidrogênio Verde e Amônia renovável	Parcialmente adotada	Exportação de energia limpa e bunkering sustentável	Portos de Pecém, Suape e Itaqui
	<i>Bunkering</i> regulamentado de Metanol Verde	Não adotada	Infraestrutura de abastecimento seguro	Porto de Singapura (Norma TR 129)

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

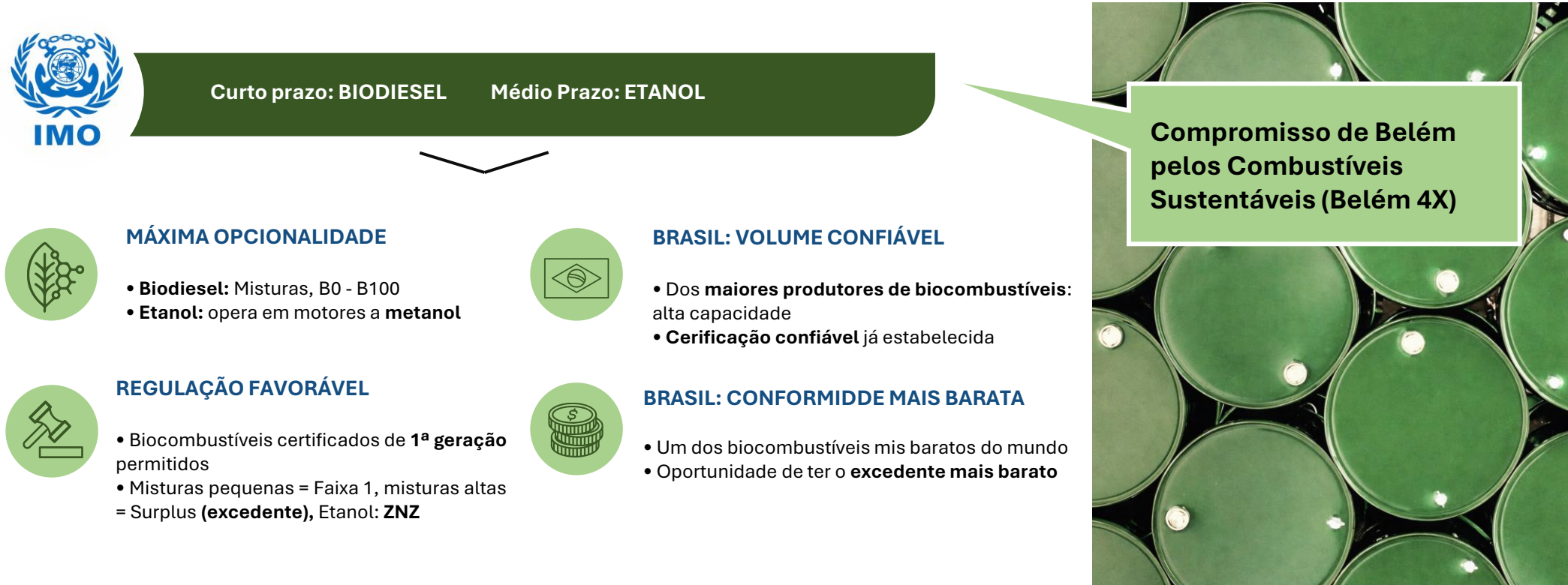
Dimensão Estratégica	Ação de Descarbonização (Boa Prática)	Status Nacional	Abrangência / Contexto de Aplicação	Principais Atores / Responsáveis
Operacional	Slow Steaming (redução voluntária de velocidade)	Adotado	Otimização do consumo de combustível em rota	Armadores globais e cabotagem
	Ajuste de Atitude da Embarcação (Trim) e calado otimizado	Adotado	Eficiência hidrodinâmica durante a navegação	Tripulantes e operadores de comboios fluviais
Infraestrutura	Fornecimento de energia em terra (Shore Power / OPS)	Parcialmente adotada	Navios atracados desligando motores auxiliares	Portos de Santos, Suape e Itaquí
	Consolidação de Corredores Verdes (Green Shipping Corridors)	Parcialmente adotada	Rotas de exportação com governança compartilhada	MPOR e Porto de Antuérpia-Bruges
	Criação de Zonas Segregadas para Combustíveis Alternativos (ZSCA)	Não adotada	Áreas de armazenamento seguro de H2V e Amônia	Portos de Roterdã e Antuérpia

Fonte: Elaboração própria.

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

As estratégias de redução de emissões devem ser direcionadas pelas políticas públicas. A ampliação da frota, aumento da concorrência e redução dos custos logísticos traçados pelo Programa BR do Mar e o uso de recursos do Adicional ao Frete para Renovação da Marinha Mercante (AFRMM), combinados com a ampliação de terminais dedicados, o desenvolvimento de serviços porta-a-porta integrados a rodovias e ferrovias e a adoção gradual de soluções tecnológicas de controle operacional e eficiência energética têm fortalecido o papel da cabotagem como componente estratégico da matriz de transportes, ainda que sua participação permaneça aquém do potencial associado à extensão da costa brasileira e ao volume de cargas passíveis de migração do rodoviário.

Figura 4: As vantagens do biocombustível brasileiro.



Fonte: Marsalgado Brasil (2025).

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Ainda, as estratégias de redução de emissões podem ser relacionadas à mudança de tecnologia do sistema de propulsão da embarcação para uso de combustíveis alternativos, aumento da eficiência energética, otimização operacional, digitalização, eletrificação, adoção progressiva de combustíveis alternativos e fortalecimento da infraestrutura logística e energética.

Os corredores verdes de navegação constituem uma das principais estratégias internacionais para operacionalizar a descarbonização do transporte marítimo, ao combinar rotas específicas, combustíveis de baixo ou zero teor de carbono, infraestrutura dedicada e governança compartilhada entre portos, armadores e provedores de energia.

Dessa forma, esses corredores são construídos a partir de rotas pactuadas entre portos de diferentes países que operam com metas claras de redução de emissões, uso prioritário de combustíveis alternativos, monitoramento ambiental rigoroso e governança compartilhada. Exemplos como o corredor Roterdã–Singapura e Antuérpia–Montreal apontam que esses corredores aceleram testes regulatórios, atraem investimentos e criam padrões globais para rastreabilidade de carbono e métricas ESG, atuando como Laboratórios da Logística sustentável e de inovação regulatória, tecnológica e financeira.

O aumento da eficiência energética pode ser o pilar mais imediato e de maior retorno. Em um setor onde o consumo energético representa parcela substancial dos custos operacionais, as medidas de otimização trazem ganhos expressivos, independem de grandes obras e aliviam emissões de forma direta. O *slow steaming*, amplamente estudado e já adotado em rotas internacionais, consiste em pequenas reduções na velocidade que geram redução acentuadas na potência requerida, com redução do consumo de combustível diminuições variando entre 10% e 27% nas emissões de CO₂, dependendo do tipo de embarcação, da rota e das condições climáticas (43,44,45). Embora a prática tenha se iniciado nas rotas oceânicas, ela encontra espaço crescente na cabotagem e até na navegação interior, desde que respaldada por programação logística mais precisa e plataformas digitais que permitam ajustar horários, janelas de atracação e rotas com antecedência.

A hidrodinâmica desempenha papel decisivo na redução de emissões de GEE. A resistência ao avanço da embarcação impacta na eficiência energética, aumentando o consumo de combustível. Diversos fatores, como estado do casco, a geometria, o calado disponível, a distribuição de cargas e as condições hidrográficas (profundidade, correnteza, largura útil do canal) podem aumentar a resistência ao movimento (45).

Dessa forma, medidas relativamente simples podem gerar ganhos relevantes de eficiência energética. A implementação de medidas tecnológicas para a redução do atrito e consequente aumento da eficiência energética incluem a utilização de revestimentos *antifouling* avançados que reduzem a incrustação biológica de hélices otimizadas para melhora do aproveitamento da potência; sistemas de ventilação do fluxo (*air lubrication*), permitindo a criação de uma camada de bolhas sob o casco (45,46).

Além dessas, medidas operacionais também podem contribuir para a redução das emissões de GEE. A realização de inspeções programadas permite identificar danos e rugosidades, enquanto ajustes de *trim* atua na correção da distribuição longitudinal de peso na embarcação, evitando a imersão excessiva da proa ou da popa, permitindo a operação do motor em faixas mais eficientes (45).

Na navegação interior, esses fatores possuem maior relevância. Comboios fluviais operam em rios que estão sujeitos a variações de profundidade, alterações de correnteza, mudanças no traçado navegável e restrições de calado em determinados trechos. Nesses contextos, a configuração dos módulos (arranjo das barcas), a distribuição de carga, a escolha de empurradores com potência adequada e a boa manutenção do casco tornam-se determinantes para maior eficiência e segurança.

Ajustes mecânicos aparentemente simples, como a reorganização do comboio para reduzir arrasto, adequação do calado às condições hidrológicas ou a combinação de parâmetros de operação com batimetrias atualizadas, podem resultar em diferenças expressivas na potência requerida para vencer trechos críticos, especialmente nos rios amazônicos e no sistema Tietê–Paraná (47,48).

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Do ponto de vista energético, essas medidas permitem transportar mais carga com menor consumo de combustível por tonelada-quilômetro, reduzindo a Intensidade de Energética da operação, além de aumentar a resiliência diante de períodos de vazante ou cheias extremas.

A digitalização integra e potencializa essas estratégias, ampliando a capacidade de planejamento, monitoramento e tomada de decisão. Sistemas de gestão energética a bordo, sensores inteligentes, telemetria, cartas náuticas digitais, previsão hidrológica integrada, batimetria atualizada e ferramentas de análise de desempenho consolidam-se como bases essenciais da navegação moderna (5,49).

Xangai

O Porto de Xangai, consistentemente entre os maiores do mundo em volume de TEU movimentado (superior a 40 milhões por ano), exemplifica a lógica de integração entre automação de terminais, sistemas digitais avançados, gestão de dados em tempo real e infraestrutura para combustíveis alternativos. O porto opera metas específicas para abastecimento de Gás Natural Liquefeito (GNL), metanol verde e outras moléculas renováveis, com armazenamento dedicado e sistemas de *bunkering* integrados a grandes terminais totalmente automatizados. A combinação de escala logística massiva com política industrial que estimula tecnologias limpas e inovação digital cria condições para rápida difusão tecnológica, redução acelerada de custos e monitoramento contínuo de desempenho operacional e ambiental, conectando dados de fluxo de carga, consumo de energia e emissões ao planejamento diário das operações.

Fonte: (50,51,52)



No ambiente portuário, o *Just-in-Time Arrival* (JIT Arrival), já testado em diversos portos internacionais, permite sincronizar a velocidade da embarcação com a disponibilidade real de cais para atracação, reduzindo o tempo de fundeio com motores auxiliares ligados, que pode representar até 40% do consumo energético durante a estadia. A IMO estima que o JIT possa reduzir entre 6% e 14% das emissões por viagem, além de aumentar a confiabilidade operacional (45). O avanço dessa agenda exige interoperabilidade entre sistemas, governança coordenada e conectividade embarcada de alto desempenho.

A hibridização e a eletrificação expandem o potencial de redução de emissões, sobretudo em segmentos urbanos, operações portuárias e embarcações de baixa e média autonomia. Tecnologias híbridas que combinam motores a combustão com baterias têm sido adotadas em rebocadores, barcas e embarcações de apoio, reduzindo entre 15% e 35% o consumo de combustível e mitigando emissões locais de NO_x, SO_x e material particulado (53,54).

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Porto de Hamburgo

Em Hamburgo, a transição energética adquire contornos urbanos e sociais mais acentuados. Com movimentação de mais de 7,7 milhões de *Twenty-foot Equivalent Unit* (TEU) e 114 milhões de toneladas anuais, operando no coração de uma metrópole que adotou metas firmes de neutralidade climática e melhoria da qualidade do ar, o avanço do OPS para segmentos de cruzeiros e porta-contêineres, aliado à eletrificação de pátios e à implementação de métricas ambientais vinculadas a políticas municipais e regionais, evidencia a importância da integração porto–cidade para gerar, simultaneamente, benefícios econômicos, sociais e ambientais. Hamburgo demonstra como metas locais rigorosas de qualidade do ar podem impulsionar investimentos em infraestrutura limpa, produzir efeitos mensuráveis sobre saúde pública e bem-estar comunitário e, ao mesmo tempo, aumentar a competitividade operacional do porto ao atrair operadores mais atentos aos seus impactos ambientais. O porto também participa de iniciativas europeias de cooperação climática entre portos, voltadas à expansão do OPS e ao teste de combustíveis alternativos em escala comercial, reforçando seu papel como referência na transição energética portuária.

Fonte: (55)



Porto de Los Angeles

O Porto de Los Angeles, principal porta de entrada do comércio transpacífico, opera com escala impressionante, movimentando cerca de 8,6 milhões de *Twenty-foot Equivalent Unit* (TEU) por ano, conectando mercados asiáticos com norte-americanos e sul-americanos. Sua localização próxima a regiões urbanas densas e seu histórico de episódios de poluição atmosférica intensa criaram pressão regulatória e social. Essa pressão catalisou o desenvolvimento de programas abrangentes de eletrificação operacional, substituição acelerada de equipamentos movidos a diesel por modelos zero emissão, ampliação sistemática de infraestrutura de OPS e implementação de corredores verdes prioritários. Em 2024, por exemplo, o porto recebeu aprovação de subsídio da Agência de Proteção Ambiental (EPA) superior a US\$ 412 milhões para ampliar infraestrutura dedicada de recarga para veículos elétricos, adquirir equipamentos zero emissão (veículos, empilhadeiras, tratores), capacitar pessoal técnico e financiar projetos comunitários de qualidade do ar. Esse valor, complementado por aportes diretos do setor privado (armadores, operadores terminais, empresas logísticas), totaliza cerca de US\$ 644 milhões em investimento coordenado. A experiência de Los Angeles evidencia claramente como metas ambientais vinculantes em nível local, combinadas com disponibilidade de financiamento federal estruturado e governança operacional conjunta entre autoridades federais, estaduais, municipais e privadas, conseguem acelerar dramaticamente a adoção de novas tecnologias e remodelar a logística portuária em poucos anos.

Fonte: (56,57)



ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Para a navegação interior, especialmente em regiões sujeitas à variação sazonal de calado, os sistemas híbridos reduzem oscilações de potência e estabilizam o regime de operação do motor, garantindo menor desgaste, menor custo de manutenção e maior eficiência global. Em rotas curtas, a eletrificação plena já é realidade em diversos países e pode ser uma oportunidade para corredores específicos no Brasil, em operações de ligação regular de curta distância entre terminais urbanos ou serviços de travessia em áreas metropolitanas, desde que sustentadas por infraestrutura elétrica confiável e competitiva.

A adoção de combustíveis alternativos estrutura o eixo mais transformador da transição energética. No curto prazo, o GNL e o GLP têm sido adotados como podem reduzir emissões locais e melhorar eficiência energética, mas não atendem aos compromissos de neutralidade climática da IMO 2050, especialmente diante das emissões fugitivas de metano (5,6,35). Por isso, embora relevantes em nichos específicos, não constituem a solução de médio e longo prazo para o setor.

Os biocombustíveis avançados, como o HVO (óleo vegetal hidrotratado), o biodiesel de alta concentração e novos biocombustíveis certificados, despontam como alternativas de implementação de curto e médio prazo no Brasil. Eles são compatíveis com parte relevante da frota, não exigem grandes adaptações, já contam com cadeia produtiva consolidada e possuem forte potencial de rastreabilidade socioambiental. Em particular, configuram-se como solução estratégica para navegação interior, operações portuárias e segmentos de apoio.

O metanol verde emerge como combustível-chave na transição global. Motores *dual fuel* já são realidade comercial, e diversos armadores internacionais anunciaram frotas inteiras movidas a metanol para rotas globais. Esse combustível é mais simples de armazenar e manusear que hidrogênio ou amônia, possui menor complexidade de armazenamento e transporte, pois não exigindo criogenia e oferece curva de adoção mais rápida, fatores que atraem o interesse crescente em polos brasileiros como Suape, Pecém e Itaquí (40,49).

Para o horizonte de emissões zero no longo prazo, a amônia verde e o hidrogênio renovável constituem as rotas promissoras (49). A amônia, por não conter carbono em sua composição, não emite CO₂ no uso final. No entanto, necessita do hidrogênio como insumo na sua produção, convencionalmente produzido a partir da reforma do metano, aumentando a sua pegada de carbono. Outro fator que deve ser considerado é a sua alta toxicidade e inflamabilidade, exigindo protocolos rigorosos de segurança e infraestrutura especializada.

O hidrogênio, seja em células a combustível ou como base química para outros vetores, também enfrenta desafios de armazenamento e densidade energética, mas avança rapidamente em projetos de transporte de passageiros de curta distância, com uso, por exemplo, de barcas, empurradores e embarcações menores. A matriz elétrica limpa do Brasil favorece a sua produção a partir da eletrólise da água, tornando-o mais competitivo. Ainda, vale pontuar que a produção da amônia verde também depende da produção limpa do hidrogênio, aumentando as chances de viabilidade do uso desse combustível de forma indireta.

Essas soluções avançam de forma conjunta. A transição para a descarbonização do modo aquaviário depende de infraestrutura logística e energética integrada, com tanques dedicados, dutos segregados, sistemas de segurança, unidades de abastecimento compatíveis, capacidade do grid elétrico, sistemas OPS, corredores verdes e hubs sustentáveis. Portos capazes de integrar múltiplos combustíveis, eletrificação e digitalização tornam-se pontos de referência para o comércio internacional. O Brasil tem potencial expressivo para desenvolver hubs energéticos ligados a projetos de hidrogênio verde e amônia no Nordeste, ao agronegócio no Arco Norte e às cadeias industriais e petroquímicas do Sudeste (40,58).

ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Os *Green Shipping Corridors* sintetizam, em escala operacional, a transformação em curso na regulação e na economia do transporte marítimo. Ao estruturar rotas específicas com governança compartilhada, metas de redução de emissões, uso prioritário de combustíveis alternativos e métricas padronizadas de monitoramento, esses corredores reduzem a incerteza para armadores e fornecedores de energia, coordenam demanda por novos combustíveis, facilitam a alocação de financiamentos verdes e criam um ambiente protegido para o teste de novas tecnologias.

Nesse contexto, o Brasil apresenta vantagens como uma matriz elétrica predominantemente renovável, escala exportadora em grãos agrícolas e minerais, diversidade hidroviária e portos estratégicos voltados para o Atlântico Sul, posicionando o país como protagonista na formação de corredores-piloto hemisféricos que conectam hubs energéticos nacionais a mercados consumidores na Europa e na Ásia, condicionando parte da expansão da sua infraestrutura portuária e naval à lógica de corredores verdes de longo prazo.

Porto de Roterdã

Roterdã, o maior porto europeu e um dos maiores do mundo, movimenta anualmente mais de 430 milhões de toneladas de carga, abrangendo uma diversidade expressiva de produtos: petroquímicos, grãos sólidos e líquidos, contêineres, produtos de valor agregado e especialidades químicas. Essa diversidade operacional demanda infraestruturas altamente flexíveis e sistemas logísticos sofisticados. O porto articula, de forma integrada, a modernização de sua infraestrutura logística com a transição energética, expandindo continuamente o número de berços equipados com OPS, desenvolvendo hubs especializados para recebimento, armazenamento e distribuição de hidrogênio, metanol e amônia renováveis, e implantando plataformas digitais de monitoramento e rastreamento ambiental que conectam dados operacionais de embarcações, terminais, distribuidoras de energia e cadeias industriais, gerando também relatórios de emissões compatíveis com exigências regulatórias e de financiadores internacionais. Esse nível de integração permite, simultaneamente, maximizar a eficiência logística, reduzir custos transacionais, validar emissões e contribuir para cadeias de suprimento transparentes e auditáveis. Ao estabelecer o corredor verde Roterdã–Singapura, que estabelece rotas prioritárias com padrões unificados de operação sustentável e métricas comparáveis de desempenho ambiental, o porto protagoniza a coordenação de corredores verdes internacionais, consolidando-se como referência global em governança da transição marítima.

Fonte: (59,60,61,62,63)



ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Na prática, o mapa brasileiro de projetos de descarbonização revela uma adoção ainda heterogênea dessas tecnologias. Nos portos organizados, programas estruturados de gestão ambiental e modernização logística têm se consolidado como pilares da transição energética.

O Porto de Santos se destaca pelo avanço contínuo no monitoramento de emissões atmosféricas e pela implementação gradual de soluções de eletrificação. Equipamentos tradicionais, como portêineres, empilhadeiras e rebocadores de pátio, vêm sendo testados com propulsão elétrica ou híbrida, reduzindo de forma sensível o consumo de combustíveis fósseis e as emissões associadas. Além da eletrificação dos equipamentos móveis, o porto expande pilotos de OPS em berços estratégicos, em parceria com a concessionária local de energia, buscando integração estável com o sistema elétrico e certificações ambientais reconhecidas. Além disso, já começou a ser implantada para rebocadores (64,65) a automação dos terminais, integrada a plataformas digitais de gestão operacional e energética, otimiza o uso da potência disponível, reduz tempos ociosos e contribui para a redução de emissões ao longo dos ciclos de operação.

O fornecimento de energia elétrica em terra para navios atracados (OPS) é uma das medidas mais relevantes para reduzir emissões e ruído em áreas portuárias, sobretudo em complexos próximos a centros urbanos. Motores auxiliares podem responder por parcela significativa do consumo energético durante a estadia no porto, de modo que a conexão à rede elétrica elimina emissões diretas de CO₂, NO_x, SO_x e material particulado no entorno urbano.

A expansão do OPS é reconhecida como prática prioritária em cidades portuárias com forte interface urbana, trazendo ganhos diretos em saúde pública e qualidade do ar. Vancouver e Hamburgo ilustram como tarifas incentivadas e matrizes elétricas renováveis potencializam os resultados ambientais e climáticos.

Porto de Vancouver

No Porto de Vancouver, no Canadá, as políticas de sustentabilidade e transição energética se articulam com uma vantagem estrutural marcante: a matriz elétrica regional é predominantemente hidrelétrica e renovável. Essa característica converte-se em diferencial competitivo ao permitir que o OPS fornecido aos navios seja, em grande medida, proveniente de fontes limpas, eliminando emissões locais durante a atracação e reduzindo de forma relevante as emissões globais. O porto oferece incentivos tarifários explícitos para operadores que utilizam o sistema OPS, em um arranjo que inverte a lógica tradicional de “poluidor-pagador”: quem opta por energia elétrica em vez de geradores a diesel recebe benefício tarifário, enquanto navios que mantêm motores auxiliares em operação enfrentam tarifas mais elevadas. Aproximadamente 75% dos navios de cruzeiro que escalam em Vancouver já utilizam o OPS em suas operações, contribuindo para reduções acumuladas superiores a 38 mil toneladas de CO₂ desde 2009. A combinação entre desempenho ambiental mensurado, estrutura tarifária diferenciada e uso sistemático de certificações ambientais consolida Vancouver como referência internacional em integração entre infraestrutura elétrica limpa, política tarifária e gestão portuária voltada à qualidade do ar.

Fonte: (66,67,68)



No Brasil, portos com alta conectividade elétrica e acesso a uma matriz majoritariamente renovável, sobretudo nas Regiões Norte, Nordeste e Sudeste, podem converter esse diferencial estrutural em estratégia competitiva, atraindo embarcações mais limpas e captando investimentos internacionais em infraestrutura verde (40,23). A implementação do OPS demanda reforço da infraestrutura elétrica, padronização técnica e arranjos tarifários adequados, dimensões que já começam a avançar em portos como Santos, Suape e Itaqui.

O porto de Paranaguá investe na modernização de seu parque de guindastes, substituindo gradativamente os modelos movidos a diesel por equipamentos elétricos de última geração. A digitalização de processos logísticos e administrativos tem reduzido o tempo de fila de caminhões e, consequentemente, as emissões associadas ao período de espera. Projetos paralelos de geração própria, com usinas fotovoltaicas instaladas em áreas portuárias, reforçam a estratégia de sustentabilidade energética. O porto participa ainda de programas de pesquisa e desenvolvimento voltados à elaboração de roteiros de transição para eletrificação ampla das operações portuárias, em alinhamento com estratégias federais e estaduais de descarbonização.

No Norte do país, o Porto de Itaqui se destaca como referência em gestão socioambiental, combinando controle rigoroso de emissões com iniciativas de energia limpa, como geração fotovoltaica local e uso crescente de biocombustíveis certificados na frota de apoio. O porto reúne um portfólio robusto de certificações internacionais, incluindo normas ISO e a certificação de Operador Econômico Autorizado (OEA), e desenvolve programas que integram tecnologias digitais para medição quase contínua das emissões operacionais. Itaqui também lidera processos de planejamento para eletrificação de seus terminais, contemplando desde a substituição da iluminação convencional por LEDs até a criação de áreas internas dedicadas à circulação de equipamentos elétricos de movimentação, com infraestrutura de recarga adequada.

Rio Grande e Suape iniciaram pilotos de melhorias operacionais focados na expansão do monitoramento ambiental, na digitalização de terminais e em estudos para adoção ampliada de eletrificação em seus pátios. Em ambos os portos, avançam iniciativas para estabelecer parcerias com fornecedores de energia renovável, enquanto programas de pesquisa buscam aumentar a autonomia energética local por meio de microgeração solar combinada à automatização de operações. Ainda que o Brasil não disponha de uma política nacional unificada para eletrificação portuária, a tendência de adoção dessas tecnologias cresce em consonância com os compromissos estabelecidos internacionalmente.

No âmbito empresarial, a cabotagem nacional e as operações de apoio marítimo vêm adotando estratégias consistentes de eficiência operacional, renovação tecnológica da frota e introdução progressiva de combustíveis alternativos. Destacam-se investimentos em navios com melhor desempenho energético, incluindo sistemas híbridos em rebocadores e projetos de embarcações *methanol-ready* e *ammonia-ready* que consistem em embarcações que podem ser facilmente adaptadas para operar com esses combustíveis em rotas estratégicas voltadas para exportações e suporte a terminais de grande porte caso se mostrem viáveis no futuro (69). A utilização de biocombustíveis avançados provenientes de fontes certificadas tem sido ampliada em operações específicas, reforçando o alinhamento com diretrizes globais de redução de emissões e evidenciando a necessidade de políticas públicas que reduzam barreiras financeiras e ampliem a segurança jurídica para os operadores nacionais.

Japão e Coreia do Sul

Ambas as nações se concentram na vanguarda da inovação em construção naval. Estaleiros altamente competitivos desenvolvem embarcações *ammonia-ready* e *methanol-ready*, projetadas ou adaptadas para, no futuro próximo, operar com amônia e metanol de baixo carbono, além de protótipos com células a combustível avançadas, novos designs hidrodinâmicos e sistemas de propulsão inovadores. Programas governamentais estruturados — como o Green Innovation Fund, no Japão — financiam sistematicamente projetos-piloto que conectam porto, indústria, operadores privados e estaleiros em arranjos colaborativos. Essa lógica de coordenação entre construção naval, tecnologia, porto e operação cria um ambiente único para testes de longa duração, validação operacional e melhoria contínua de tecnologias emergentes.

Outra tendência convergente é a mobilização crescente de instrumentos financeiros voltados especificamente à transição energética portuária. Bancos multilaterais, agências de desenvolvimento e fundos soberanos passaram a priorizar projetos que combinem eletrificação, eficiência energética e combustíveis de baixo carbono, recorrendo a mecanismos como *Green Bonds*, *Sustainability-linked loans* (*empréstimos atrelados a metas de sustentabilidade*), fundos de infraestrutura verde e estruturas de *blended finance* (*combinação de recursos públicos e privados para reduzir risco e custo do capital*). Portos europeus e norte-americanos já utilizam esses instrumentos para financiar subestações elétricas, sistemas de OPS, *retrofits* (adaptações) de embarcações e processos de digitalização avançada. Essas práticas começam a se difundir entre países emergentes e tendem a ganhar relevância à medida que exigências climáticas e critérios ESG se tornam condicionantes para acesso a capital.

Fonte: (7,70,71,72,73,74,75)



ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE EMISSÕES

Em outros complexos portuários nacionais, como, por exemplo, no Porto de Suape, Pecém, Açú e Itaqui, avanços em estudos e projetos de hidrogênio verde, e-metanol⁴ (76,77,78) e planos de descarbonização com metas estabelecidas para 2050, combinando geração renovável, substituição de equipamentos por versões elétricas e mecanismos tarifários para incentivar operações menos emissoras (79,80).

Na Amazônia, a revolução tecnológica no transporte fluvial é especialmente notável devido à combinação única de desafios ambientais, sociais e de infraestrutura. Projetos de embarcações elétricas ou híbridas vêm sendo desenvolvidos tanto para transporte regular de passageiros entre comunidades ribeirinhas quanto para pequenas cargas, suprimindo rotas essenciais em áreas de difícil acesso. O desenho dessas embarcações leva em conta as intensas variações de calado dos rios, o regime de cheias e secas, a abundância de recursos solares e as restrições ambientais das unidades de conservação. Feitas para operar em baixas profundidades e percorrer longos trechos sem poluir, elas apresentam casco hidrodinamicamente otimizado, peso reduzido pelo uso de compósitos leves e sistemas modulares de baterias de íons de lítio adaptados ao perfil de demanda e aos ciclos diários de navegação. Protótipos mais avançados já integram painéis fotovoltaicos para extensão da autonomia, recarga em comunidades remotas e operação silenciosa — aspecto relevante para minimizar impactos sobre fauna aquática e avifauna e sobre o modo de vida local. Embarcações-piloto monitoram, por sensores embarcados e telemetria, o consumo energético, a tensão do sistema, o regime de navegação, o padrão hidrológico local e condições ambientais do entorno, como temperatura da água e níveis de turbidez, informações essenciais para mapear as condições da viagem e otimizar o desempenho em tempo real.

Além disso, projetos colaborativos entre empresas, organizações da sociedade civil, universidades federais e órgãos ambientais exploram aplicativos de roteamento inteligente que consideram dados meteorológicos, hidrológicos e de logística das comunidades, sugerindo trajetos e horários que evitem desperdício energético, paradas desnecessárias ou riscos de encalhe.

⁴ Está no grupo dos e-fuels, combustível sintético ou eletrocombustível, e consiste, portanto, no metanol produzido a partir de hidrogênio de baixo carbono e eletricidade renovável

Trillos e Brand-Daniels (54) indicam reduções da ordem de até 60% no consumo de combustível de embarcações híbridas, impactando positivamente na redução das emissões locais e de GEE, quando comparadas a embarcações a diesel de mesmo porte. Além disso, o uso de frota e máquinas elétricas ou híbridas impacta na diminuição de ruído em portos (81) e embarcações híbridas reduzem a poluição sonora e a vibração operacional, especialmente em navegações noturnas em (54). Ainda, esforços estão sendo implementados por meio de normas para redução da poluição sonora sob as águas, de modo a proteger a vida marítima (82), que podem ser beneficiados pela busca do aumento da eficiência energética e redução de emissões de GEE (83). Esses resultados, associados a maior aceitação social e redução do custo total de operação no médio prazo, reforçam o potencial das soluções elétricas e híbridas. Novas possibilidades de integração entre energia renovável, navegação e políticas de acesso social, por meio do uso de barcos escolares, ambulanchas e pequenas balsas de suprimento que se beneficiam dessas tecnologias, garantem a mobilidade em regiões de difícil acesso de forma ambientalmente sustentável e com participação ativa das comunidades nos processos de manutenção, recarga e uso racional dos sistemas.

Ao lado dessa eletrificação inteligente, situações como variações bruscas de vazão, cheias extremas e formação de bancos de areia têm sido enfrentadas por meio de softwares de previsão hidrológica e batimetria em tempo quase real, aliados a técnicas de otimização hidrodinâmica do calado, reduzindo riscos operacionais e ampliando a janela de navegabilidade nos momentos críticos. Dessa forma, os projetos tecnológicos na bacia amazônica não apenas respondem a imperativos ambientais, mas também contribuem para inclusão social, resiliência climática e inovação em serviços públicos essenciais, conectada à vocação nacional de sustentabilidade na logística interiorana.

Levantamentos recentes coordenados pela ANTAQ sobre o grau de preparação dos portos para receber embarcações de baixo carbono apontam para a existência de núcleos de grande avanço tecnológico, convivendo com terminais ainda fortemente dependentes do uso do diesel, baixa digitalização e ausência de infraestrutura energética dedicada.

Porto de Antuérpia-Bruges

Antuérpia-Bruges apresenta um perfil distinto, operando como centro petroquímico estratégico e hub de logística integrada, movimentando aproximadamente 278 milhões de toneladas anuais. A particularidade de sua vocação industrial reorientou sua estratégia de transição: em vez de priorizar apenas eficiência logística, Antuérpia consolidou-se como polo de desenvolvimento e teste de novas moléculas energéticas. Desenvolveu infraestrutura altamente especializada para hidrogênio renovável, metanol verde e amônia, combinando estudos detalhados de demanda industrial, zoneamento logístico estratégico, parques de armazenamento criogênico e sistemas de dutos internos de distribuição. Esse arranjo logístico-industrial-energético permite que o porto não apenas ofereça serviços de transporte, mas também funcione como centro de distribuição e transformação energética para toda a hinterland europeia. A lógica de planejamento integrada, que articula porto, setor energético, indústria petroquímica e base exportadora, reduz custos logísticos da energia, aumenta a previsibilidade de oferta e cria um ambiente favorável a investimentos de longo prazo em combustíveis alternativos, oferecendo um modelo replicável para outros complexos portuário-industriais que buscam se posicionar como hubs de energia sustentável e indústria verde.

Fonte: (19,84,85)



A União Europeia consolidou-se como o ecossistema mais avançado e integrado de políticas climáticas aplicadas ao setor marítimo internacional. A inclusão estrutural do transporte marítimo no Sistema Europeu de Comércio de Emissões (EU ETS Marítimo) (86), combinada ao regulamento FuelEU Maritime que estabelece metas obrigatórias de redução da intensidade carbônica dos combustíveis utilizados pelos navios redireciona de forma profunda a lógica operacional do setor, ao incorporar o carbono como variável econômica central e ao estabelecer uma trajetória clara e vinculante de descarbonização (87). Esse arcabouço regulatório robusto, que combina incentivos econômicos com exigências técnicas, vem sendo acompanhado por grandes investimentos, seja com recursos públicos, via fundos de transição ecológica, quanto privados, motivados por perspectivas de rentabilidade de longo prazo. Esses investimentos são direcionados à expansão massiva da infraestrutura elétrica portuária, ao desenvolvimento de cadeias de abastecimento para combustíveis alternativos, à digitalização das operações e à automação de terminais (88).

Nesse ambiente regulatório e financeiro favorável, portos europeus de grande porte, como Roterdã, Antuérpia-Bruges e Hamburgo, consolidam-se como verdadeiros laboratórios vivos de transição energética, funcionando simultaneamente como hubs logísticos, polos industriais de energia e centros de inovação tecnológica e de governança.

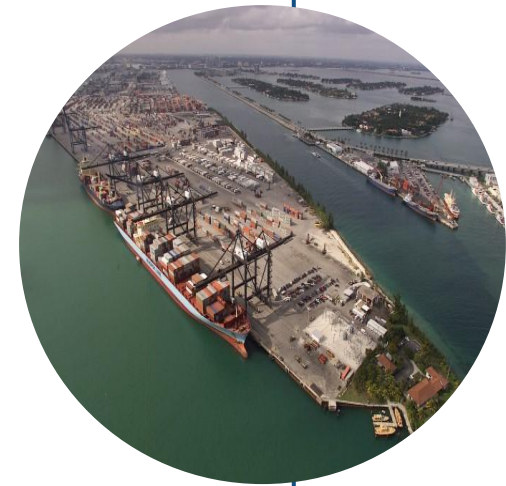
A Integração Porto-Indústria no modelo Europeu pode ser observada nos principais portos da Europa por meio da transição energética que está ancorada à integração entre logística portuária, setor industrial (químico, petroquímico, agronegócio) e fornecimento de energia renovável. Hubs multifuncionais conectam operações portuárias a polos industriais, criam demanda estável para combustíveis alternativos e fortalecem polos de inovação. No Brasil, polos como Pecém, Suape e Itaqui caminham nessa direção, com projetos que ampliam a resiliência energética e o potencial exportador desses terminais.

Na América do Norte predomina o Investimento Público e Metas Ambientais Locais. Nos Estados Unidos e Canadá, a transição energética do setor aquaviário é impulsionada por uma combinação de instrumentos de financiamento de grande escala, reguladores ambientais com forte capacidade de fiscalização e sanção e programas coordenados que integram metas mensuráveis de qualidade do ar, inovação tecnológica acelerada e fortalecimento sistemático da infraestrutura portuária (89). É nesse contexto que portos como Los Angeles, Long Beach e Vancouver se destacam como vitrines de políticas ambientais locais robustas associadas a investimentos maciços em eletrificação, OPS e equipamentos zero emissão.

Porto de Long Beach

O Porto de Long Beach, geograficamente integrado ao complexo portuário de San Pedro Bay juntamente com Los Angeles, compartilha instrumentos regulatórios sobrepostos, metas ambientais de mesma ordem de grandeza e iniciativas colaborativas. Movimentando volume comparável (cerca de 8 milhões de TEU por ano), Long Beach é coautor do Clean Air Action Plan, documento que estabelece metas claras e datadas para eletrificação de terminais, retrofit de embarcações de apoio, renovação da frota de caminhões de acesso e redução de emissões de gases de efeito estufa e poluentes locais. Entre essas metas, destacam-se, por exemplo, a transição para caminhões de carga zero emissão até 2035 e objetivos de redução de gases de efeito estufa alinhados a cortes de 40% até 2030 e 80% até 2050 em relação a 1990, apoiados por programas de financiamento, incentivos tarifários e monitoramento contínuo de emissões GEE e qualidade do ar. A integração porto-cidade e a governança operacional compartilhada entre autoridades portuárias, prefeituras, órgãos ambientais estaduais e federais e setor privado ilustram como políticas ambientais locais robustas podem moldar trajetórias de modernização portuária de longo prazo.

Fonte: (90,91,92,93)



Na Ásia, observa-se uma combinação distintiva de política industrial coordenada, capacidade tecnológica avançada, integração estreita entre construção naval e logística e uma escala operacional massiva que impulsiona a transição marítima em ritmo acelerado. A região com destaque para China, Japão, Coreia do Sul e Singapura, adota e implanta em larga escala tecnologias emergentes de forma integrada, conectando estaleiros, portos, armadores e provedores de energia em estratégias nacionais de longo prazo.

A descarbonização do modo aquaviário é prioridade também nas Américas Central e Latina, impulsionada pela necessidade de mitigar as mudanças do clima e alinhamento com compromissos internacionais de sustentabilidade. Por meio de diversas políticas de incentivo, os países da região estão implementando ações concretas para reduzir as emissões de GEE e alcançar a neutralidade das emissões de carbono.

O governo chileno estabeleceu um plano nacional que busca alcançar a neutralidade de carbono no transporte marítimo até 2030, por meio do uso de energias renováveis, que inclui a promoção do uso de hidrogênio verde e a eletrificação dos portos. Além disso, incentivos financeiros estão sendo oferecidos para modernizar embarcações com tecnologias limpas. Para o desenvolvimento da infraestrutura, o país precisará investir aproximadamente 5 bilhões de dólares anualmente, até 2050, para cumprir suas metas climáticas. Um exemplo específico é o Porto de Antofagasta, que está se preparando para se tornar um centro de produção e exportação de hidrogênio verde, aproveitando os recursos renováveis disponíveis na região (11).

A Colômbia está desenvolvendo corredores logísticos verdes que conectam os portos a centros industriais utilizando transporte sustentável. O país também investe em biocombustíveis e na modernização de sua infraestrutura portuária. O Porto de Cartagena é um exemplo onde foram implementadas medidas de redução de emissões, por meio de estratégias de eletrificação das operações e uso de biocombustíveis em suas atividades. A integração entre o transporte marítimo e terrestre está sendo otimizada, minimizando assim as emissões operacionais(11)

A análise integrada das experiências europeias, norte-americanas, asiáticas e de países da América Latina revela não uma trajetória única, mas caminhos distintos que convergem em pilares essenciais da Transição Energética. Governança de longo prazo, planejamento estruturado com horizonte de até 20 anos, digitalização profunda das operações, expansão contínua da infraestrutura elétrica integrada à rede regional, estímulo sistemático a combustíveis alternativos por meio de mecanismos financeiros e regulatórios, implantação de marcos normativos robustos e, fundamentalmente, articulação estratégica entre logística portuária, setor energético e bases industriais locais emergem como determinantes da transição. Em todos os casos, a descarbonização deixa de ser um projeto isolado do porto para tornar-se política de Estado e de cadeia produtiva.

Os corredores verdes de navegação consolidam-se, nesse contexto, como instrumento transversal particularmente importante ao estabelecer rotas com padrões unificados de operação sustentável, métricas comparáveis de desempenho ambiental, infraestrutura dedicada e critérios rigorosos de governança multinível. Ao reduzir a incerteza regulatória e financeira para armadores e fornecedores de energia, esses corredores permitem o funcionamento em escala real de projetos piloto. Experiências como os corredores Roterdã–Singapura, Los Angeles–Xangai e Antuérpia–Montreal fornecem evidências empíricas de que a articulação tripartite entre porto, armador e indústria de combustíveis reduz custos transacionais, acelera investimentos privados e gera resultados ambientais mensuráveis e verificáveis ao longo do tempo.

Os corredores verdes de nova geração incorporam, além do uso prioritário de combustíveis sustentáveis, camadas adicionais de interoperabilidade digital e monitoramento contínuo de emissões ao longo de toda a cadeia logística. O *Baltic Green Corridor* é uma iniciativa que coordena rotas e investimentos na região do Mar Báltico, enquanto a H2Ports European Network e o corredor Japão–Coreia–Singapura consistem em redes europeia e asiática de portos-piloto dedicados a projetos com hidrogênio. Esses projetos e iniciativas evidenciam uma evolução em direção a modelos de governança multinível, métricas padronizadas e protocolos de segurança compartilhados entre portos, armadores e fornecedores de energia.

Isso reforça a importância estratégica do desenvolvimento de corredores verdes nacionais e hemisféricos conectados a hubs energéticos emergentes, capazes de integrar produção de combustíveis limpos, infraestrutura portuária moderna e cadeias exportadoras intensivas em transporte marítimo.

Essas referências internacionais dialogam de forma produtiva, e em consonância, com movimentos já iniciados e consolidados no Brasil. A expansão de projetos de eletrificação portuária, os pilotos estruturados com combustíveis alternativos, em especial nos portos do Nordeste, a consolidação de hubs energéticos regionais, a digitalização acelerada de terminais e o fortalecimento do ambiente regulatório e de governança por meio de iniciativas como o IDA-Navegação, a M.A.R.E.S., as diretrizes de sustentabilidade da ANTAQ e os programas do Ministério de Portos e Aeroportos indicam que o país já construiu a base institucional e técnica necessária para dar o próximo passo. O desafio central deixa de ser “por onde começar” e passa a ser como escalar, integrar e acelerar essas agendas de forma coordenada em nível nacional.

A análise comparativa das soluções e estratégias identificadas evidencia que a transição brasileira será necessariamente híbrida, com a eficiência energética e a digitalização como base imediata, utilizando os biocombustíveis e o metanol para o médio prazo, enquanto o hidrogênio e amônia para rotas estratégicas de longo prazo. Ainda, o OPS, a eletrificação plena em áreas urbanas e segmentações específicas e infraestrutura integrada como eixo transversal também devem ser ações priorizadas. O avanço depende da coordenação entre as partes interessadas, como órgãos reguladores, representados pela ANTAQ, MPOR, Marinha do Brasil e IBAMA; operadores; armadores; e produtores de energia, bem como por meio de mecanismos financeiros que permitam diluir riscos e escalar soluções.

O Brasil reúne as condições necessárias para a descarbonização do transporte aquaviário, fruto da combinação entre capacidades energéticas estruturais, avanço regulatório recente, escala logística e crescente integração às tendências internacionais de sustentabilidade. A matriz elétrica brasileira, com média histórica superior a 85% de geração renovável e cerca de 88% em 2024, configura como uma das mais limpas do mundo segundo dados consolidados do Balanço Energético Nacional (23) e da Agência Internacional de Energia (94), confere vantagem comparativa direta na adoção de eletrificação portuária (OPS), hibridização de rebocadores, integração de equipamentos elétricos e implantação de hubs energéticos conectados a fontes renováveis.

Essa característica estrutural torna o Brasil especialmente competitivo para produção de hidrogênio verde, amônia verde e metanol renovável, vetores energéticos que já movimentam investimentos bilionários anunciados no Nordeste. Estados como Ceará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia consolidaram-se, nos últimos dois anos, como polos emergentes de hidrogênio verde, amônia e combustíveis sintéticos, atraindo memorandos de entendimento, acordos de desenvolvimento e parcerias com empresas globais.

A expansão dessa infraestrutura energética habilita a formação de hubs portuários de baixo carbono e de corredores verdes capazes de integrar produção, armazenagem e abastecimento de combustíveis sustentáveis com cadeias de exportação intensivas em transporte aquaviário (94,95,96). Esses projetos dialogam com a agenda internacional de descarbonização, incluindo iniciativas como o Green Shipping Challenge e os mecanismos de cooperação e financiamento discutidos recentemente nas COP 28-30, mas precisam ser traduzidos em planos de investimento, planejamento portuário e arranjos institucionais adaptados às especificidades da matriz elétrica brasileira, da rede hidroviária e dos programas nacionais em curso.

No entanto, vale pontuar que a produção inicial de hidrogênio tem sido direcionada para o mercado exterior, com a planta de produção em uma Zona de Processamento de Exportação (ZEP) localizada no complexo de Pecém (97). Dessa forma, impacta, também, na produção da amônia verde, já que a sua produção necessita do hidrogênio verde, produzido pela eletrólise da água utilizando energia limpa.

Nesse contexto, muitas das alternativas para os combustíveis fósseis têm sido definidas pelo cenário internacional, pavimentando o caminho para o transporte marítimo de longo curso, sobretudo quando se considera a criação de corredores verdes com outros países. Para a realidade brasileira, o etanol pode ser uma alternativa mais viável e que pode ser implementada em curto e médio prazo na Cabotagem e Navegação Interior, já que a motores a etanol destinado a embarcações estão sendo desenvolvidos por empresas como a Finlandesa Wärtsilä e a empresa Suíça WinGD e devem ser comercializados a partir de 2026 (98,53).



Fonte: <https://www.ceara.gov.br/2021/11/16/com-setor-2-inaugurado-pelo-governo-do-ceara-zpe-ganha-em-flexibilizacao-e-logistica/>

A transição energética no setor aquaviário brasileiro avança em um contexto marcado por progressos regulatórios recentes, ampliação de iniciativas públicas e privadas e crescente articulação entre logística, energia e inovação. O país reúne vantagens estruturais, como matriz elétrica majoritariamente limpa, potencial competitivo para produção de hidrogênio e amônia verdes, posição geoeconômica estratégica e vasta malha hidroviária, posicionando-o entre os candidatos naturais ao protagonismo na transição energética.

No entanto, a adoção acelerada de tecnologias de baixo carbono exige a superação de desafios técnicos, financeiros, regulatórios, institucionais e socioambientais que condicionam a velocidade da transformação. Tais barreiras não representam entraves insolúveis, mas pontos de atenção que devem orientar o planejamento público, a priorização de investimentos e a tomada de decisão de operadores e investidores.

Um dos desafios centrais envolve a base tecnológica atualmente disponível no país. A frota que opera em hidrovias, especialmente no Amazonas e no Tietê-Paraná, convive com variações intensas de calado, correnteza e batimetria, o que aumenta a potência necessária para navegação e reduz a eficiência de embarcações mais antigas. Esse quadro, somado à elevada idade média dos motores e à baixa padronização de empurradores e barcas, que possuem projetos, arranjos de módulos e sistemas de propulsão muito heterogêneos limita a adoção imediata de tecnologias como sistemas híbridos, baterias embarcadas ou *retrofit* para combustíveis alternativos. Em muitos casos, embarcações antigas não possuem arquitetura elétrica compatível com sistemas modernos de gestão energética, o que encarece e prolonga intervenções. Em segmentos portuários, soluções como eletrificação de pátios, rebocadores híbridos e OPS ainda demandam padronização técnica, aquisição de equipamentos especializados e integração com fornecedores e concessionárias de energia. Esses fatores vêm avançando em portos específicos, mas ainda não atingiram escala nacional, gerando assimetrias relevantes entre complexos mais modernos e terminais que permanecem altamente dependentes de motores a diesel.

A infraestrutura portuária e hidroviária também impõe desafios significativos. A ausência ou insuficiência de instalações dedicadas para armazenamento e abastecimento de combustíveis alternativos como metanol verde, amônia, hidrogênio ou biocombustíveis avançados permanece como ponto sensível. Essas instalações exigem áreas segregadas, sistemas de contenção, protocolos de segurança específicos, integração logística com produtores e cadeias de suprimento estáveis, bem como alinhamento a padrões internacionais de segurança e certificação. Ao mesmo tempo, a infraestrutura elétrica disponível em diversos portos ainda carece de reforço: subestações, linhas de transmissão, transformadores, redundância energética e sistemas de proteção precisam ser expandidos para viabilizar operações simultâneas de OPS, recarga de equipamentos elétricos e integração com sistemas automatizados. Esses elementos já vêm sendo incluídos no planejamento de portos estratégicos, em coordenação com distribuidoras e transmissoras de energia, mas o intervalo entre concepção, licenciamento, financiamento e implantação ainda representa um desafio natural de maturação.

No ambiente hidroviário, gargalos físico-operacionais, como falta de dragagem contínua, sinalização desatualizada, baixa densidade de estações hidrometeorológicas e lacunas de monitoramento em tempo real — reduzem previsibilidade, aumentam o consumo energético de comboios e geram custos adicionais. Em muitos trechos da Amazônia ou do Tietê-Paraná, pequenas variações no calado alteram significativamente a resistência hidrodinâmica, elevando emissões e reduzindo a quantidade de carga por viagem. Isso se traduz em maior consumo de combustível por tonelada-quilômetro, perda de confiabilidade logística e menor capacidade de competir com corredores internacionais altamente otimizados. A expansão de sensores, cartas náuticas digitais, batimetrias atualizadas e sistemas de monitoramento já está em curso, com apoio de órgãos federais e operadores, mas ainda requer escala e continuidade para atender de forma abrangente toda a malha hidroviária.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

A expansão das hidrovias quando planejada e aliada à integração com ferrovias e portos fortalece o multimodalismo e reduz emissões sistêmicas da logística. A posição do Brasil como grande exportador aumenta a demanda por cadeias logísticas de baixo carbono, abrindo espaço para corredores verdes nacionais e rotas hemisféricas conectadas a Santos, Suape, Pecém, Itaquí e portos do Arco Norte.

Aspectos financeiros constituem outra frente central no avanço da transição energética, que demanda investimentos volumosos em infraestrutura elétrica, sistemas digitais, *retrofits* e renovação da frota e instalações de abastecimento. Embora o mercado global de financiamento verde esteja em expansão, o setor aquaviário ainda enfrenta limitações típicas de economias em transição, com elevado custo de capital, poucos instrumentos de garantia para tecnologias emergentes, dificuldade de traduzir benefícios ambientais em fluxo de caixa direto e modelos de negócio em fase de amadurecimento. A ausência de mecanismos de mitigação de risco como garantias públicas, linhas de crédito específicas em bancos de desenvolvimento, debêntures verdes ou incentivadas, esquemas tarifários adaptados e contratos de compra firme (*offtake*) para combustíveis limpos podem ser avaliados por atores de interesse de portos e operadores como uma barreira para o desenvolvimento de projetos inovadores, que tendem a avançar em ritmo inferior ao potencial. A estruturação dos instrumentos de financiamento climático e parcerias público-privadas em logística e energia está em estágio inicial, mas a consolidação desses arranjos, com ganho de escala e previsibilidade, é etapa natural de qualquer ciclo de inovação.

À medida que o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) for sendo regulamentado setorialmente, tende a reforçar os sinais de preço de carbono para operadores portuários e de navegação, aproximando a agenda doméstica das exigências dos mercados regulados internacionais.

O ambiente regulatório nacional também evoluiu de forma significativa. Instrumentos como o IDA-Navegação e a M.A.R.E.S., lançados pelo Ministério de Portos e Aeroportos em convergência com a Infra S.A., posicionam o país entre os poucos a desenvolver métricas próprias e auditáveis de desempenho ambiental, alinhadas a práticas internacionais. Além disso, a ANTAQ vem ampliando seus referenciais de monitoramento, com diretrizes para inventários, gestão de efluentes, resíduos, segurança energética, adaptação climática e incentivos regulatórios à eficiência logística.

Ao mesmo tempo, a demanda global por cadeias logísticas transparentes e de baixo carbono impulsionada pelo European Green Deal, pela entrada em vigor do CBAM, pelo Fit for 55 e pelo EU ETS Marítimo, coloca o Brasil em posição estratégica: suas exportações dependem do modo marítimo e, portanto, sua competitividade passa a incluir o conteúdo de carbono da logística. Relatórios de 2023 e 2024 da OECD e UNCTAD destacam que países com sistemas logísticos baratos e limpos tendem a ganhar acesso preferencial a mercados regulados, fortalecendo sua posição em cadeias de valor que exigem rastreabilidade e conformidade ambiental (99,100).

Outro ponto sensível refere-se à capacitação técnica e à disponibilidade de profissionais especializados. A operação segura de combustíveis alternativos, a manutenção de sistemas elétricos e híbridos, a gestão de baterias embarcadas, a implementação do *Just-in-Time Arrival* (JIT) e a interoperabilidade de sistemas logísticos exigem novas competências de tripulações, equipes de operação portuária, engenheiros navais e elétricos, especialistas em automação e profissionais de dados. O Brasil vem avançando na criação de cursos, certificações e programas de formação, em universidades, centros de pesquisa e entidades do Sistema S, mas a transição demandará expansão contínua da mão de obra qualificada, especialmente em regiões que desejam consolidar hubs energéticos, corredores verdes e maior participação das hidrovias na matriz de transportes.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

Além dos desafios operacionais, existem barreiras vinculadas à governança de dados e ao monitoramento ambiental. Inventários de emissões (Escopos 1, 2 e, especialmente, 3) ainda apresentam lacunas em vários portos e operadores, o que dificulta a comprovação de reduções, limita o acesso a financiamento ESG, enfraquece estratégias de neutralização e reduz a comparabilidade entre projetos. A interoperabilidade entre sistemas da ANTAQ, Infra S.A., VTS, telemetria embarcada, plataformas portuárias, ferramentas de gestão energética, torna-se fundamental para criar uma base confiável de dados, permitir análises em tempo real e viabilizar indicadores de desempenho alinhados às melhores práticas internacionais. Experiências de países que avançaram nessa agenda mostram que a digitalização integrada costuma ser um dos pilares mais eficazes para acelerar a descarbonização e destravar investimentos.

Os aspectos socioambientais e de licenciamento também influenciam de forma decisiva a transição. Instalações para combustíveis alternativos, novas subestações ou ampliações de terminais demandam estudos de impacto detalhados, audiências públicas e coordenação entre múltiplos órgãos. Portos próximos a áreas urbanas — como Santos, Salvador ou Rio de Janeiro — precisam equilibrar expansão operacional com políticas de qualidade do ar, mobilidade urbana, paisagem e bem-estar comunitário. O país vem ampliando diretrizes de licenciamento e incorporando critérios de sustentabilidade, mas a adoção de modelos de licenciamento em fases, termos de referência específicos para projetos de descarbonização e mecanismos estruturados de engajamento social serão essenciais para reduzir prazos, aumentar a previsibilidade e garantir legitimidade às decisões de investimento. Em muitos casos, soluções que produzem benefício ambiental líquido positivo como, por exemplo, o OPS e eletrificação de equipamentos, podem se beneficiar de procedimentos mais ágeis, sem perda de rigor técnico.

Por fim, desafios relacionados à cadeia de suprimento e à sincronização entre oferta e demanda de combustíveis alternativos merecem destaque. A expansão dos polos brasileiros de hidrogênio verde, amônia e metanol, sobretudo no Nordeste, avança rapidamente, mas ainda depende de contratos de longo prazo, rotas logísticas dedicadas, equipamentos especializados e padronização com cadeias globais de *bunkering* e certificação.

A articulação entre produtores de energia, portos, armadores, operadores logísticos e reguladores é fundamental para coordenar investimentos e evitar assimetrias entre produção e abastecimento, gerando capacidade ociosa em plantas industriais, por falta de demanda, ou insuficiência de produto no momento em que a frota começa a migrar para combustíveis limpos. A adoção de esquemas robustos de certificação, incluindo critérios de sustentabilidade socioambiental e rastreabilidade também será decisiva para garantir acesso a mercados que exigem comprovação de conteúdo renovável e baixa intensidade de carbono.

Apesar desse conjunto de desafios, o Brasil dispõe de oportunidades estruturais, como a combinação de matriz elétrica majoritariamente renovável, experiência acumulada em biocombustíveis, escala exportadora e projetos em desenvolvimento para hidrogênio de baixo carbono e combustíveis sustentáveis coloca o país em posição diferenciada para descarbonizar o transporte aquaviário. O desafio central passa a transformar essas vantagens em projetos concretos e escaláveis, articulando investimentos em frota, infraestrutura portuária e hidroviária, digitalização e governança de longo prazo, de forma alinhada às metas climáticas e às exigências de mercados internacionais.

Além disso, a agenda financeira global abre espaço crescente para captação de recursos via *green bonds*, instrumentos ESG, estruturas de *blended finance* e fundos multilaterais, desde que apoiados por métricas robustas, inventários consistentes e projetos bem estruturados. Modelos de *blended finance*, em que recursos públicos, privados e de fundos climáticos são combinados, têm incluído no mix contratos de parques solares ou eólicos dedicados, acelerando a modernização da infraestrutura logística nacional e reduzindo o custo de capital de projetos de descarbonização.

Ao reunir matriz limpa, capacidade institucional em consolidação, forte base exportadora e crescente articulação entre políticas públicas e iniciativas privadas, o Brasil avança de maneira consistente e caminha para ocupar posição de liderança na transição energética do transporte aquaviário. As Parcerias Público-Privadas (PPPs) também ganham centralidade em concessões e arrendamentos que conectam expansão da infraestrutura logística a compromissos de eletrificação, OPS e uso de energia limpa, inclusive em portos do Arco Norte e do Nordeste.

DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

A capacidade de atrair investimentos internacionais, aliada ao fortalecimento técnico-institucional do setor público, posiciona o país não apenas como participante da transição, mas como referência regional em inovação, governança ambiental e competitividade logística de baixo carbono.

Da perspectiva das iniciativas privadas, operadores portuários e empresas de navegação no Brasil vêm assumindo papel relevante na implementação prática da transição energética. Terminais de grande porte avançam na eletrificação de equipamentos como RTGs e empilhadeiras, reduzindo o consumo de óleo diesel e melhorando a qualidade do ar no entorno. Empresas de apoio portuário introduziram rebocadores híbridos com monitoramento em tempo real da performance energética, enquanto terminais em portos como Santos, Rio Grande e Itaqui estruturam planos para substituir frotas de equipamentos móveis por modelos elétricos, em parte supridos por usinas solares dedicadas.

No segmento de cabotagem e navegação interior, armadores têm firmado parcerias com grandes embarcadores para auditoria externa de emissões, implementação de rotas-piloto com contratos de frete “carbono neutro” e utilização crescente de biocombustíveis certificados. Essas iniciativas se refletem em reconhecimentos nacionais e internacionais de sustentabilidade e indicam que há massa crítica de experiências para orientar políticas públicas e instrumentos de financiamento de maior escala.

Recentemente, nos painéis da COP 30 e em fóruns nacionais e internacionais sobre infraestrutura logística, foi reforçada a percepção de que portos e hidrovias podem funcionar como plataformas integradas de descarbonização, conectando investimentos em energia renovável, combustíveis sustentáveis e digitalização da operação. Entre as recomendações centrais para esse salto institucional e tecnológico, destacam-se a necessidade de ampliar o alcance dos projetos-piloto de eletrificação, o investimento em hubs logísticos integrados, a aceleração dos corredores verdes de navegação, o aumento da capacitação técnica operacional e gerencial, a implantação de redes digitais para transparência em dados ambientais e o fomento a modelos inovadores de financiamento climático que permitam superar gargalos para investimento privado.

Portanto, o *benchmarking* internacional não aponta lacunas estruturais que impeçam o Brasil de avançar, mas identifica com clareza oportunidades específicas para ampliação, sofisticação e aceleração de políticas em andamento. Entre elas, destacam-se: o desenvolvimento de corredores verdes nacionais ligando portos exportadores estratégicos; a modelagem de estruturas tarifárias inovadoras para o uso de OPS, inspiradas em experiências como Vancouver; o aprofundamento da governança integrada porto-indústria, à maneira de Antuérpia-Bruges; a implementação de protocolos técnicos nacionais para *bunkering* de novos combustíveis, em linha com referências como a TR 129 de Singapura; a utilização mais sistemática de instrumentos de financiamento *blended* (público-privado) e financiamentos verdes, à semelhança do que já ocorre em portos europeus e norte-americanos; e o fortalecimento contínuo da capacidade institucional de órgãos reguladores, administrações portuárias e operadores.

Em síntese, o Brasil está avançando em direção ao protagonismo regional em transição energética logística — não como mero espectador de fenômenos internacionais, mas como protagonista que adapta, integra e consolida soluções sustentáveis alinhadas às suas vocações estruturais, às vantagens comparativas da sua matriz energética e ao seu contexto institucional. A forma como o país irá combinar planejamento de longo prazo, instrumentos regulatórios, inovação tecnológica, financiamentos climáticos e cooperação internacional nos próximos anos será decisiva para transformar esse potencial em ganhos concretos de competitividade, resiliência e redução de emissões em toda a sua cadeia aquaviária.

Recomendações-Chave para Acelerar a Agenda Nacional (2025–2050)

Políticas públicas, incentivos e inovação para ampliar resultados

Para que o Brasil converta plenamente seu potencial em protagonismo, recomenda-se consolidar um marco regulatório integrado para combustíveis alternativos, com diretrizes claras de segurança, licenciamento, zoneamento, certificação e rastreabilidade. A harmonização entre Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR), ANTAQ, IBAMA, Marinha do Brasil, ANEEL, Infra S.A. e governos estaduais é essencial para reduzir incertezas, simplificar procedimentos e atrair investimentos.

Modelos de incentivo tarifário — como descontos ou benefícios para navios que utilizem OPS ou combustíveis sustentáveis — podem replicar experiências bem-sucedidas de portos como Roterdã e Vancouver, alinhando estrutura de preços a desempenho ambiental. No campo financeiro, recomenda-se ampliar instrumentos de garantia pública e critérios padronizados de mensuração ambiental, permitindo acesso mais competitivo a *green bonds*, fundos multilaterais e mecanismos ESG, especialmente para projetos de eletrificação, *retrofits*, digitalização e infraestrutura de abastecimento limpo.

O setor privado pode avançar com Planos de Transição Energética alinhados ao horizonte 2030–2050, incorporando inovação tecnológica, rotas claras de descarbonização, parcerias com indústrias e testes-piloto em corredores verdes nacionais e hemisféricos. A definição de um *roadmap* nacional escalonado para 2025–2050 com a definição de fases de regulamentação, expansão de infraestrutura e consolidação de combustíveis sustentáveis — fortaleceria a previsibilidade e reduziria riscos.



A análise desenvolvida ao longo deste boletim demonstra que o Brasil vive um momento estratégico na transição energética do setor aquaviário. Trata-se de um processo que, embora marcado por desafios estruturais, avança de forma consistente e progressiva, impulsionado por iniciativas públicas recentes, novos instrumentos de governança ambiental, expansão do interesse privado e crescente alinhamento às tendências internacionais. A experiência acumulada até aqui indica que a descarbonização deixou de ser apenas um objetivo ambiental para se tornar um eixo essencial da competitividade logística e um vetor de modernização da infraestrutura nacional.

Os achados mostram avanços importantes na construção de métricas e sistemas de monitoramento, como o IDA-Navegação e a M.A.R.E.S., e na integração institucional entre órgãos reguladores, gestores portuários, operadores e usuários. Destacam-se ainda programas brasileiros pioneiros em eletrificação de equipamentos, desenvolvimento de hubs e corredores energéticos, experiência em uso de combustíveis alternativos e digitalização crescente das operações. Esses ganhos concretos, no entanto, vêm acompanhados de barreiras significativas que limitam a expansão acelerada da agenda. Tais barreiras manifestam-se em dimensões técnicas, regulatórias, financeiras, operacionais e institucionais. Reconhecer essas limitações é crucial não como um entrave, mas como uma oportunidade: fortalecer políticas públicas, estruturar incentivos claros e previsíveis e ampliar a coordenação entre agentes permitirá ao país transformar seu potencial em protagonismo efetivo na transição global.

Entre os desafios técnicos, destaca-se a idade média elevada e a baixa eficiência de parte da frota, especialmente na navegação interior, o que implica alto consumo específico de combustível e dificuldade para adoção de combustíveis alternativos e sistemas híbridos em larga escala. Nas hidrovias, o quadro é agravado por sazonalidade hídrica, variabilidade de calado e necessidade intensa de dragagens, que aumentam a potência requerida, elevam o consumo energético e restringem a introdução de novas tecnologias em trechos críticos.

O segmento portuário enfrenta restrições na disponibilidade, qualidade e resiliência da rede elétrica para alimentar operações intensivas em energia, OPS, recarga de frotas elétricas, automação e digitalização, evidenciando a necessidade de investimentos robustos em subestações, linhas de transmissão, redundância e integração com fontes renováveis regionais.

No campo regulatório, apesar da evolução institucional, persiste a fragmentação de normas e ritmos distintos entre ANTAQ, IBAMA, Marinha do Brasil, ANEEL, MPOR, Infra S.A. e autoridades estaduais e municipais. Essa assimetria se materializa em procedimentos de licenciamento, fiscalização e outorga, gerando incerteza, dúvidas operacionais e maior risco e custo de implantação para investidores. O país ainda carece de um marco integrado sobre combustíveis alternativos, com detalhamento regulatório quanto à segurança, licenciamento, zoneamento, rastreabilidade e certificação, o que limita o avanço do bunkering e o acesso a investimentos internacionais. O exemplo de países que estruturaram marcos completos e antecipados como Singapura, Japão e a União Europeia mostra como a clareza regulatória reduz riscos e impulsiona a adoção rápida de inovações.

A dimensão financeira é igualmente crítica. Novas tecnologias apresentam custos iniciais elevados, ciclos de maturação longos e, em muitos casos, receitas indiretas ou difusas, enquanto linhas de financiamento verde, *green bonds* e estruturas de *blended finance* somente recentemente começaram a ser acessíveis de forma sistemática pelo setor aquaviário. Para que projetos sejam financiados, é necessário que dados robustos, integração de indicadores ambientais padronizados, como, por exemplo, emissões por tonelada-quilômetro ou por TEU movimentado, e alinhamento pleno com métricas internacionais de clima e sustentabilidade. Programas de garantia pública, linhas dedicadas para *retrofits*, eletrificação, digitalização e infraestrutura de combustíveis alternativos podem ser alavancas decisivas para viabilizar a descarbonização em escala.

Na infraestrutura de abastecimento, oportunidades e desafios caminham juntos. O avanço na implantação de instalações para hidrogênio verde, amônia, metanol e biocombustíveis depende de áreas adequadas, padrões técnicos, rotas logísticas seguras, zonas segregadas, protocolos de segurança e interlocução estreita com polos industriais de produção energética renovável. Experiências de portos como o de Pecém, Suape, Itaqui e Santos evidenciam o potencial brasileiro para formar hubs energéticos e logísticos, mas incorporá-lo de forma sistêmica requer diretrizes claras sobre portos-polo, priorização de investimentos, integração com o planejamento energético nacional e previsibilidade de demanda, lastreada em contratos de longo prazo e planos de expansão articulados.

Apesar de tais desafios, o panorama evidencia que o Brasil se encontra em posição singular. A matriz elétrica majoritariamente renovável configura um ativo estrutural, ao permitir eletrificação abrangente a custos competitivos, reduzir a pegada de carbono da infraestrutura portuária e viabilizar produção de hidrogênio, amônia e combustíveis alternativos com baixa intensidade de emissões ao longo do ciclo de vida. O sistema hidroviário extenso, combinado a corredores ferroviários e portos estratégicos, completa esse quadro, abrindo oportunidades para atuação sistêmica e redução expressiva de emissões agregadas no transporte, especialmente em cadeias exportadoras de grande escala.

As recomendações derivadas destes achados convergem para a necessidade de acelerar a consolidação de um ambiente regulatório moderno, transparente e integrado. É prioritário elaborar diretrizes nacionais detalhadas sobre combustíveis alternativos, incluindo padrões técnicos, procedimentos de licenciamento, critérios de zoneamento, requisitos de rastreabilidade e certificação de emissões e de sustentabilidade socioambiental. Esses instrumentos são fundamentais para reduzir riscos, destravar investimentos e atrair operadores e armadores globais. Padronizar indicadores ambientais, incentivar a elaboração de inventário de emissões, considerando os escopos 1, 2 e 3, e interoperabilizar plataformas nacionais de monitoramento amplia a aderência aos padrões globais de financiamento verde e de compliance climático. Incentivos tarifários devem ser alinhados ao desempenho ambiental, à luz das melhores práticas internacionais: a experiência de portos como Vancouver e Roterdã evidencia o poder de tarifas verdes diferenciadas para induzir soluções limpas e tecnologias disruptivas.

No âmbito financeiro, ampliar o acesso a financiamentos verdes, consolidar diretrizes para fundos climáticos portuários e criar mecanismos de garantias públicas para *retrofits*, eletrificação, digitalização e infraestrutura de combustíveis limpos são passos recomendados para integrar o setor aquaviário a instrumentos ESG reconhecidos por fundos internacionais. O setor privado tem papel direto nesse caminho: a adoção de Planos de Transição Energética sólidos, com metas anuais, *roadmaps* tecnológicos, indicadores públicos e cultura de inovação reforçará a competitividade e facilitará o acesso a crédito e mercados premium. A experiência internacional e nacional demonstra que empresas que inovam, seja em automação, hidrodinâmica, gerenciamento digital, logística de baixo carbono ou adoção mais célere de biocombustíveis ou eletrificação, reduzem custos e riscos e capturam valor em reputação, preferência comercial e contratos de longo prazo.

A consolidação de um *roadmap* nacional claro e escalonado é necessário para que haja a descarbonização do setor até 2050. Entre 2025 e 2030, o foco deve recair sobre regulamentação detalhada, projetos-piloto maduros, padronização de métricas e fortalecimento institucional. De 2030 a 2040, a prioridade tende a ser a expansão integrada da infraestrutura energética e digital, com ampliação de *Onshore Power Supply*, frotas híbridas e elétricas, *hubs* de combustíveis sustentáveis e digitalização profunda dos terminais. De 2040 a 2050, o horizonte é de plena integração de combustíveis sustentáveis, frota de baixa emissão, sistemas inteligentes em terminais portuários e corredores verdes consolidados, alinhados às metas globais da IMO e às estratégias climáticas nacionais.

Portanto, o Brasil não se posiciona como agente ativo e cada vez mais relevante na transição energética aquaviária. Os avanços são nítidos na regulação, nos instrumentos de incentivo, nos projetos já iniciados e nas capacidades técnicas instaladas. No entanto, a real liderança dependerá do fortalecimento contínuo da coordenação entre atores, da previsibilidade regulatória e da mobilização estratégica de investimentos públicos e privados. O setor reúne, hoje, os principais pré-requisitos para converter oportunidades em competitividade, liderança regional e desenvolvimento logístico sustentável de longo prazo, alinhado às demandas climáticas e às transformações em curso na economia global.

REFERÊNCIAS

- [1] BRASIL. **Lei nº 9.432 - Ordenação do transporte aquaviário e dá outras providências**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9432.htm>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [2] BRASIL. **Lei nº 12.815 - Exploração direta e indireta pela União de portos e instalações portuárias e sobre as atividades desempenhadas pelos operadores portuários**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12815.htm>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [3] ANTAQ. **Modo Aquaviário - Frota Navegação Interior**. Disponível em: <<https://web3.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarFrotaSintetica.aspx?tiponav=interior>>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [4] ANTAQ. **Modo Aquaviário - Frota Navegação Marítima**. Disponível em: <<https://web3.antaq.gov.br/Portal/Frota/ConsultarFrotaGeral.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [5] VITORINO, A. P. et al. **Os Desafios da Descarbonização: Nos Portos, Transporte Marítimo e por Vias Navegáveis Interiores**. [s.l.] Autoridade de Mobilidade e dos Transportes - AMT, 2024. Disponível em: <<https://www.amt-autoridade.pt/media/4928/estudo-descarboniza%C3%A7%C3%A3o.pdf>>.
- [6] IMO. **2023 IMO strategy on reduction of GHG emissions from ships**. , jul. 2023. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/2023-imo-strategy-on-reduction-of-ghg-emissions-from-ships.aspx>>. Acesso em: 8 out. 2025
- [7] AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA - IEA. **International Shipping**. Disponível em: <<https://www.iea.org/energy-system/transport>>. Acesso em: 5 jan. 2026.
- [8] MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS. **MPor leva à COP30 novos marcos da agenda verde do setor portuário**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/10/mpor-leva-a-cop30-novos-marcos-da-agenda-verde-do-setor-portuario>>. Acesso em: 20 jan. 2026.
- [9] UNEP - UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Infrastructure for Climate Action**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.unep.org/resources/report/infrastructure-climate-action>>. Acesso em: 20 jan. 2026.
- [10] ANTAQ. **Índice de Desempenho Ambiental (IDA)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/antaq/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indice-de-desempenho-ambiental-ida-1/indice-de-desempenho-ambiental-ida>>. Acesso em: 4 jan. 2026.
- [11] ANTAQ. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Setor Aquaviário**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/antaq/pt-br/assuntos/sustentabilidade/inventario-de-gases-de-efeito-estufa-gee-do-setor-aquaviario>>.
- [12] GREEN SHIPPING CHALLENGE. **Green Shipping Challenge**. Disponível em: <<https://greenshippingchallenge.org/>>. Acesso em: 3 jan. 2026.
- [13] MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS. **Governo do Brasil cria programa para descarbonizar portos e navegação**. Disponível em: <<https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2025/12/governo-do-brasil-cria-programa-para-descarbonizar-portos-e-navegacao-1>>. Acesso em: 13 jan. 2026.
- [14] GRAY, N. et al. Decarbonising ships, planes and trucks: An analysis of suitable low-carbon fuels for the maritime, aviation and haulage sectors. **Advances in Applied Energy**, v. 1, p. 100008, fev. 2021.
- [15] EUROPEAN COUNCIL. **Fit for 55**. Disponível em: <<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>>. Acesso em: 11 jan. 2026.
- [16] PORT AUTHORITY OF SINGAPORE. **Singapore launches new standard on methanol bunkering, paves way for maritime industry's transition to sustainable alternative fuels**. Disponível em: <<https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/singapore-launches-new-standard-on-methanol-bunkering--paves-way-for-maritime-industry-s-transition-to-sustainable-alternative-fuels>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

REFERÊNCIAS

[17] BRASIL. **Roteiro de Implementação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/desenvolvimento-economico-sustentavel/sistema-brasileiro-de-comercio-de-emissoes/estudos/241209-crtlh-implementacao-sbce-v4.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2026.

[18] PORTO DO AÇU. **Porto do Açu e Porto de Antuérpia-Bruges assinam carta de intenções para criação de corredor verde de e-combustíveis**. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/porto-do-acu-e-porto-de-antuerpia-bruges-assinam-carta-de-intencoes-para-criacao-de-corredor-verde-de-e-combustiveis/>>. Acesso em: 4 jan. 2026.

[19] PORT OF ANTWERP-BRUGES. **Green energy hub**. Disponível em: <<https://www.portofantwerpbruges.com/en/green-energy-hub>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

[20] EIXOS. **Porto do Açu e Porto de Antuérpia-Bruges assinam acordo para criar corredor de e-combustíveis**. Disponível em: <<https://eixos.com.br/combustiveis-e-bioenergia/biocombustiveis/porto-do-acu-e-porto-de-antuerpia-bruges-assinam-acordo-para-criar-corredor-de-e-combustiveis/>>. Acesso em: 30 dez. 2025.

[21] EPL. **Plano Nacional de Logística 2035**. Disponível em: <<https://portal.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-2035>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

[22] OBSERVATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE EM LOGÍSTICA - OSML. **Intensidade Energética**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjQ3YTU5YjEtMDAyMS00YTZmLTg1OGMtYmZmOTM1MGM5NGMxIiwidCI6IjFiNDcwMzAxLTM3ZTctNGlyMy04NGY1LWY3ODcyODIyNDFiNyJ9>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

[23] EPE. **Balanco Energético Nacional - Relatório Síntese 2025 (Ano base 2024)**. Brasília, Brazil: Empresa de Pesquisa Energética, 2025. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>>.

[24] SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). **Panorama da Emissões Brasileiras em 2024**. Disponível em: <<https://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

[25] VILLEN, F. B. et al. **Descarbinização do Transporte de Cargas**. Rio de Janeiro, RJ: BNDES, 2024.

[26] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **Modo Rodoviário Transportes de Cargas**: Boletim de Logística - Transição Energética no Setor de Transportes: Volume IV. Brasília, Brazil: INFRA S.A., 2025. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/boletim-de-logistica/?jsf=jet-engine:boletins&pagenum=2>>.

[27] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **Matriz Energética Brasileira e Políticas Públicas**: Boletim de Logística - Transição Energética no Setor de Transportes: Volume II. Brasília, DF: INFRA S.A., 2023. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/boletim-de-logistica/?jsf=jet-engine:boletins&pagenum=2>>.

[28] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **Matriz Energética Brasileira e Políticas Públicas**: Boletim de Logística - Transição Energética no Setor de Transportes: Volume II. Brasília, DF: INFRA S.A., 2023. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/boletim-de-logistica/?jsf=jet-engine:boletins&pagenum=2>>.

[29] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **Modo Ferroviário e o Uso do Hidrogênio no Setor de Transportes**: Boletim de Logística - Transição Energética no Setor de Transportes: Volume III. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/boletim-de-logistica/>>.

[30] ANTAQ. **Estatísticos Aquaviários - 2022**. Disponível em: <<https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/publicacoes-da-antag/estatisticos-aquaviarios>>. Acesso em: 12 jan. 2026

[31] OBSERVATÓRIO NACIONAL DE TRANSPORTE E LOGÍSTICA - ONTL. **A Cabotagem no Brasil e as Ações de transformação Digital portuária**: Boletim de Logística - Modo Aquaviário e Transporte de Cargas. Brasília, DF: INFRA S.A., 2025. Disponível em: <<https://ontl.infrasa.gov.br/publicacoes-tecnicas/boletim-de-logistica/>>.

[32] BRASIL. **Portos brasileiros movimentam 95% das importações e exportações de produtos**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/portos-brasileiros-movimentam-95-das-importacoes-e-exportacoes-de-produtos>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

REFERÊNCIAS

- [33] ANP. **ANP autoriza comercialização de combustível marítimo com biodiesel**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/anp-autoriza-comercializacao-de-combustivel-maritimo-com-biodiesel>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- [34] FECOMBUSTÍVEIS. **Vibra vai testar venda de diesel marítimo com até 30% de biodiesel em São Paulo - Federação Nacional do Comércio de Combustíveis e de Lubrificantes**. Disponível em: <<https://www.fecombustiveis.org.br/noticia/vibra-vai-testar-venda-de-diesel-maritimo-com-ate-30-de-biodiesel-em-sao-paulo/259888>>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- [35] ANTAQ. **Diagnóstico de Descarbonização, Infraestrutura e aplicações do Hidrogênio nos Portos**. Brasília, DF: Agência Nacional de Transporte Aquaviário e GIZ, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/antag/pt-br/central-de-conteudos/estudos-e-pesquisas-da-antag-1/GIZAL23A_240429_P6_Guia_de_Recomendacoes_V8.0.pdf>.
- [36] TERMINAL DE CONTEINERES DE PARANAGUA S/A - TCP. **Inventario de Emissões de Gases de Efeito-Estufa 2024 PT**. Disponível em: <<https://www.tcp.com.br/wp-content/uploads/2025/06/Inventario-de-Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa-2024-PT.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [37] PORTO DO AÇU. **Relatório de Sustentabilidade 2024**. , 2025.
- [38] SANTOS, V. R. P. **Descarbonização do Porto do Itaqui: levantamento da estimativa das emissões de CO2 pelos navios enquanto atracados entre 2022 e 2024**. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2025.
- [39] FUENTES GARCÍA, G. et al. Atmospheric Emissions in Ports Due to Maritime Traffic in Mexico. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 9, n. 11, p. 1186, 27 out. 2021.
- [40] WAY CARBON. **Diagnóstico de descarbonização, Infraestrutura e Aplicação do Hidrogênio nos Portos**. Brasília, DF: ANTAQ, MPOR e GIZ, 2023.
- [41] SLADE, L. et al. **Investing in pathways to decarbonize infrastructure**. Washington, DC: MacKinsey & Company, 2022. Disponível em: <[https://www.mckinsey.com/industries/infrastructure/our-insights/investing-in-pathways-to-decarbonize-infrastructure#/>](https://www.mckinsey.com/industries/infrastructure/our-insights/investing-in-pathways-to-decarbonize-infrastructure#/). Acesso em: 26 jan. 2019.
- [42] VILLEN, F. B. et al. Descarbonização no Transporte de Cargas. **BNDES Setorial**, v. 30, n. 58, p. 50–55, set. 2024.
- [43] CARIOU, P. Is slow steaming a sustainable means of reducing CO2 emissions from container shipping? **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 16, n. 3, p. 260–264, maio 2011.
- [44] IMO. **GreenVoyage2050: operational measures for ship energy efficiency (trim optimization, hull/propeller maintenance)**. Disponível em: <<https://greenvoyage2050.imo.org/the-issue/>>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [45] IMO. **A practical guide to the selection of energy efficiency technologies for ships**. London, UK: International Maritime Organization, 2022. Disponível em: <<https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2022/10/energy-efficiency-tech-for-ships-online.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2026.
- [46] AMERICAN BUREAU OF SHIPPING - ABS. **Air Lubrication Technology**. Houston: [s.n.]. Disponível em: <<https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/advisories-and-debriefs/Air%20Lubrication%20Technology.pdf>>.
- [47] ZENTARI, L. et al. Experimental and numerical investigation of shallow water effects on resistance and propulsion of coupled pusher-barge convoys. **Applied Ocean Research**, v. 121, p. 103048, abr. 2022.
- [48] AMORIM, A. E. A. **Análise do coeficiente de arrasto dos comboios no transporte fluvial: estudo de caso no Rio Tietê**. . Em: VII MOSTRA DE DOCENTES EM RJI. São Paulo, SP: 2023. Disponível em: <https://www.fatecguaratingueta.edu.br/mostrarji/Anais-VII-MostraRJI/artigos/publicacao_208.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026

REFERÊNCIAS

[49] GUEDES, R.; DANTAS, G.; WEI, H. K. **Alternativas de descarbonização para o setor de transporte marítimo no Brasil: 2024**. Rio de Janeiro, RJ: Centro Brasileiro de Relações Internacionais - CEBRI e Consulado Geral da Noruega, 2024. Disponível em: <<https://www.cebri.org/br/doc/359/alternativas-de-descarbonizacao-para-o-setor-de-transporte-maritimo-no-brasil-2024>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[50] SHANGHAI INTERNATIONAL PORT. **50 Million TEUs! Shanghai Port Sets World Record for Annual Container Throughput**. Disponível em: <<https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4310.jhtml>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[51] SHANGHAI INTERNATIONAL PORT. **SIPG Joins Forces to Develop the Hydrogen-Based Green Energy Trading Platform**. Disponível em: <<https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4004.jhtml>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[52] SHANGHAI INTERNATIONAL PORT. **Summary of Shanghai International Port Group (SIPG)'s 2024 H1 Report**. Disponível em: <<https://en.portshanghai.com.cn/LatestNews/4076.jhtml>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[53] WÄRTSILÄ. **Hybrid ships: a surprising reason they are such an excellent idea**. Disponível em: <<https://www.wartsila.com/insights/article/hybrid-ships-a-surprising-reason-they-are-such-an-excellent-idea>>. Acesso em: 12 jan. 2026.

[54] TRILLOS, J. C. G.; BRAND-DANIELS, U. Waterborne Transport. Hybrid Power Supply for Electrification of Port Infrastructures, Shore-to-Ship Power, and Ship Power and Propulsion. Em: SCIPIONI, R. et al. (Eds.). **Hybrid Energy Storage**. Lecture Notes in Energy. Cham: Springer Nature Switzerland, 2026. v. 47p. 273–318.

[55] HAMBURGER HAFEN UND LOGISTIK. **HHLA Annual Report 2024**. Disponível em: <<https://report.hhla.de/annual-report-2024>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[56] PORT OF LOS ANGELES. **State of the Port**. Disponível em: <<https://portoflosangeles.org/state-of-the-port>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[57] PORT OF LOS ANGELES. **Port of Los Angeles Awarded \$412 Million Grant from U.S. EPA for Zero-Emission Transformation**. Disponível em: <https://portoflosangeles.org/references/2024-news-releases/news_102924_epa_grant>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[58] BRASIL. **Hidrovias ganham protagonismo na exportação de soja e milho**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/10/hidrovias-ganham-protagonismo-na-exportacao-de-soja-e-milho>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[59] PORT OF ROTTERDAM. **Sustainable Port**. Disponível em: <<https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/sustainable-port>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[60] WORLD ECONOMIC FORUM - WEF. **Green shipping corridors (Rotterdam-Singapore Green Corridor)**. Disponível em: <<https://initiatives.weforum.org/alliance-of-ceo-climate-leaders/case-study-details/green-shipping-corridors-%28rotterdam-singapore-green-corridor%29/aJYTG0000000wdV4AQ>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[61] PORT OF ROTTERDAM AUTHORITY. **Port Call Optimisation | Port of Rotterdam**. Disponível em: <<https://www.portofrotterdam.com/en/sea-shipping/port-call-optimisation>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[62] PORT OF ROTTERDAM. **Maritime and Port Authority of Singapore and Port of Rotterdam to establish world's longest Green and Digital Corridor for efficient and sustainable shipping |**. Disponível em: <<https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-press-releases/maritime-and-port-authority-of-singapore-and-port-of-rotterdam-to-establish>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

[63] MPA SINGAPORE. **Rotterdam and Singapore Strengthen Collaboration on Green and Digital Shipping Corridor**. Disponível em: <<https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/rotterdam-and-singapore-strengthen-collaboration-on-green-and-digital-shipping-corridor>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

REFERÊNCIAS

- [64] BRASIL. **Porto de Santos leva energia gerada pela própria hidrelétrica até o cais**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/porto-de-santos-leva-energia-gerada-pela-propria-hidreletrica-ate-o-cais>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [65] BRASIL. MINISTÉRIO DE PORTOS E AEROPORTOS - MPOR. **Porto de Santos leva energia gerada pela própria hidrelétrica até o cais**. Disponível em: <<https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2025/02/porto-de-santos-leva-energia-gerada-pela-propria-hidreletrica-ate-o-cais>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [66] PORT OF VANCOUVER. **Vancouver**. Disponível em: <<https://sustainableworldports.org/wpcap/wg-3/our-mission/vancouver/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [67] VANCOUVER FRASER PORT AUTHORITY. **Climate and air quality action**. Disponível em: <<https://www.portvancouver.com/environment/climate-and-air-quality-action>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [68] VANCOUVER FRASER PORT AUTHORITY. **Receive up to 75% off harbour due rates at the Port of Vancouver through the EcoAction Program**. Disponível em: <<https://www.portvancouver.com/sites/default/files/2024-11/PV-EcoActionInfographic.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [69] GLOBAL MARITIME FORUM. **From pilots to practice: Methanol and ammonia as shipping fuels**. [s.l.] Getting to Zero Coalition, 2025. Disponível em: <https://downloads.ctfassets.net/gk3lrmlph5v/42oVCMYa8EuGXsvd46hlH6/e7a183fa7adb94749676607ad72a2a8c/Getting_to_Zero_Coalition-From_pilots_to_practice__Methanol_and_ammonia_as_shipping_fuels.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2026.
- [70] IEA. **Green Innovation Fund – Policies**. Disponível em: <<https://www.iea.org/policies/13128-green-innovation-fund>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [71] ATCHISON, J. **Sembcorp Marine granted AiP for ammonia bunkering vessel**. Disponível em: <<https://ammoniaenergy.org/articles/sembcorp-marine-granted-aip-for-ammonia-bunkering-vessel/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [72] HD HYUNDAI'S SHIPBUILDING & OFFSHORE ENGINEERING SECTOR. **HD Hyundai Develops A New Ship Design For Ammonia Dual-Fuel Container Ships**. Disponível em: <<http://www.hd.com/en/newsroom/media-hub/press/view?&>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [73] C40 CITIES. **C40 supported by IFC and IAPH to unlock sustainable finance for ports and tackle critical funding gap**. Disponível em: <<https://www.c40.org/news/c40-supported-by-ifc-and-iaph-to-unlock-sustainable-finance-for-ports-and-tackle-critical-funding-gap/>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [74] THE DECARB HUB. **Financing Port Decarbonisation**. Disponível em: <<https://www.thedecarbhuh.org/press-room/press-releases/port-decarbonisation-blended-finance-facility/>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [75] THE DECARB HUB. **Accelerating decarbonisation in shipping**. Disponível em: <<https://www.thedecarbhuh.org/>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [76] MONTEIRO, C. **Porto do Açu e HIF Global assinam contrato para a produção de e-metanol**. Disponível em: <<https://portodoacu.com.br/porto-do-acu-e-hif-global-assinam-contrato-producao-de-e-metanol/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [77] GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Complexo do Pecém assina acordo com Porto de Rostock (Alemanha) e Corredor Verde ganha reforço**. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2025/10/17/complexo-do-pecem-assina-acordo-com-porto-de-rostock-alemanha-e-corredor-verde-ganha-reforco/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [78] SUAPE. **Governo de Pernambuco anuncia nova fábrica de e-metanol de R\$ 2 bilhões no Complexo de Suape**. Disponível em: <<https://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1941-governo-de-pernambuco-anuncia-nova-fabrica-de-e-metanol-de-r-2-bilhoes-no-complexo-de-suape>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

REFERÊNCIAS

- [79] FUNDAÇÃO VALENCIAPORT. **Plano de Descarbonização do Porto de Itaqui**. [s.l.] Porto de Itaqui, 2025. Disponível em: <https://www.portodoitaqui.com/_files/arquivos/E3-Plano-de-Descarbonizacao-VF03-Brazilian-Portuguese-Version.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [80] EMPRESA MARANHENSE DE ADMINISTRAÇÃO PORTUÁRIA - EMAP. **Porto do Itaqui lança plano de descarbonização durante a Intermodal South America**. Disponível em: <<https://www.portodoitaqui.com/imprensa/noticia/porto-do-itaqui-lanca-plano-de-descarbonizacao-durante-a-intermodal-south-america>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [81] MARRERO, A. **Ports seek to reduce acoustic pollution**. Disponível em: <<https://piernext.portdebarcelona.cat/en/environment/ports-seek-to-reduce-acoustic-pollution/>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [82] IMO. **Ship noise**. Disponível em: <<https://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/noise.aspx>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [83] TRANSPORT CANADA. **Ship Energy Efficiency and Underwater Radiated Noise**. [s.l.] VARD Marine, 2023. Disponível em: <<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/MediaCentre/HotTopics/Documents/Ship%20Energy%20Efficiency%20and%20Underwater%20Radiated%20Noise.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- [84] PORT OF ANTWERP-BRUGES. **Hydrogen**. Disponível em: <<https://www.portofantwerpbruges.com/en/our-port/climate-and-energy-transition/hydrogen>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [85] PORT OF ANTWERP-BRUGES. **Where can I find facts, figures and statistics about the port? | Port of Antwerp-Bruges**. Disponível em: <<https://www.portofantwerpbruges.com/en/faq/where-can-i-find-facts-figures-and-statistics-about-port>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [86] EUROPEAN UNION. Directive (EU) 2023/959 of the European Parliament. . 10 maio 2023.
- [87] EUROPEAN UNION. **Regulation (EU) 2023/1805 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC (Text with EEA relevance)**. OJ L, 13 set. 2023. Disponível em: <<http://data.europa.eu/eli/reg/2023/1805/oj>>. Acesso em: 21 jan. 2026
- [88] EUROPEAN CLIMATE, INFRASTRUCTURE AND ENVIRONMENT EXECUTIVE AGENCY. **Connecting Europe Facility (CEF)**. Disponível em: <https://cinea.ec.europa.eu/programmes/connecting-europe-facility_en>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [89] EPA. **Clean Ports Program**. Announcements and Schedules. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ports-initiative/cleanports>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [90] EPA. **Shore Power Technology Assessment at U.S. Ports – 2022 Update**. [s.l.] U.S. Environmental Protection Agency, 2022. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1016C86.pdf>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [91] SAN PEDRO BAY PORTS. **Clean Air Action Plan 2017**. Disponível em: <https://kentico.portoflosangeles.org/getmedia/9d371f7b-9812-4c75-bcfd-23e83a191435/CAAP_2017_Draft_Document-Final>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [92] WORLD CARGO. **Port of Long Beach moves 9.9m TEU in 2025, targets 20m by 2050**. Disponível em: <<https://www.worldcargonews.com/ports-terminals/2026/01/port-of-long-beach-moves-9-9m-teu-in-2025-targets-20m-by-2050/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [93] U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). **California plans to reduce greenhouse gas emissions 40% by 2030**. Disponível em: <<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=34792>>. Acesso em: 21 jan. 2026.

REFERÊNCIAS

- [94] IEA. **World Energy Outlook 2025**. Paris, France: [s.n.]. Disponível em: <<https://iea.blob.core.windows.net/assets/dfe5daf4-dbc1-4533-abe8-fafb1faee0f9/WorldEnergyOutlook2025.pdf>>.
- [95] GLOBAL MARITIME FORUM. **Green corridors**. Disponível em: <<https://globalmaritimeforum.org/green-corridors/>>. Acesso em: 5 jan. 2026.
- [96] JOE BOYLAND; BIANCA GARVIN. **Oceans of opportunity: Supplying green methanol and ammonia at ports**. [s.l.] Global Maritime Forum - GMF e Rocky Mountain Institute - RMI, 15 abr. 2024. Disponível em: <<https://globalmaritimeforum.org/report/oceans-of-opportunity-supplying-green-methanol-and-ammonia-at-ports/>>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- [97] BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Aprovado o maior projeto de produção de hidrogênio verde em larga escala do país**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/outubro/aprovado-o-maior-projeto-de-producao-de-hidrogenio-verde-em-larga-escala-do-pais>>. Acesso em: 12 jan. 2026.
- [98] RAMOS, C. S. **Empresa suíça desenvolve motor de navio a etanol**. Disponível em: <<https://globo.rural.globo.com/biocombustiveis/noticia/2025/10/empresa-suica-desenvolve-motor-de-navio-a-etanol.ghtml>>. Acesso em: 12 jan. 2026.
- [99] INTERNATIONAL TRANSPORT FORUM. **ITF Transport Outlook 2023**. [s.l.] OECD Publishing, 2023.
- [100] UNCTAD. **Review of Maritime Transport 2024 (Overview)**. [s.l.] UN Trade and Development, 22 out. 2024. Disponível em: <https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024overview_en.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2026



infraoficial
infra.oficial
infra-oficial
infraaoficial

observatório@infrasa.gov.br
institucional@infrasa.gov.br
www.ontl.infrasa.gov.br
www.infrasa.gov.br