

NOTA TÉCNICA

Visão dos Especialistas para a Descarbonização do Transporte Marítimo Brasileiro: Impactos, Desafios e Oportunidades.

Setembro de 2025



Produto elaborado para:

Instituto Clima e Sociedade - iCS

Projeto

Roadmap para a Descarbonização do Transporte Rodoviário de Longa Distância, Marítimo e Aéreo de Cargas no Brasil.

Coordenação

Suzana Kahn Ribeiro

Equipe Técnica

Márcio de Almeida D'Agosto
Lino Guimarães Marujo
Daniel Neves Schmitz Gonçalves
Lorena Mirela Ricci

Revisão Técnica

Carine Lacerda
Tamar Roitman

Design Gráfico e Diagramação:

Vitor Olavo de Oliveira Castro Moreira
Lyvia Costa dos Santos





Resumo Executivo

Esta nota técnica, sumariza a visão de especialistas do transporte marítimo de cargas brasileiro sobre os desafios e oportunidades para a descarbonização deste modo de transporte. Com base nas respostas dos especialistas, o documento aborda temas fundamentais como o uso e disponibilidade de combustíveis alternativos, a importância da eficiência energética, o papel da infraestrutura dos portos, necessidade de apoio governamental para regulamentação e colaboração setorial para alcance das metas de redução de emissões.





1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento demográfico e econômico, a atividade de transportes deve aumentar, o que pode elevar a demanda de energia e as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Assim, a descarbonização do setor de transportes é um desafio a ser enfrentado para limitar as mudanças do clima (Gonçalves, 2022), uma vez que o setor de transportes é um dos principais consumidores de combustíveis fósseis, utilizando cerca de 95% dos derivados de petróleo ofertados no mundo (IEA, 2023).

Globalmente, as emissões diretas do setor de transporte foram de cerca de 8,9 GtCO_{2e} em 2019, correspondendo a cerca de 15% do total de emissões de GEE e 23% das emissões de CO₂ relacionadas à energia, sendo a maior fonte de emissões do setor. Destaca-se que o transporte rodoviário é responsável por 6,1 GtCO_{2e} (69% do total). O transporte marítimo internacional e a aviação internacional são responsáveis, respectivamente, por 0,8 GtCO_{2e} (9%) e 0,6 GtCO_{2e} (7%). As emissões do transporte rodoviário cresceram a uma taxa de 1,7% entre 2010 e 2019 e as da aviação internacional cresceram 3,4% ao ano, de acordo com a rápida expansão da atividade de transporte no globo, que cresceu 73% entre 2000 e 2018. O transporte de carga, em particular, cresceu 68% entre 2000 e 2015 e deve triplicar até 2050 com as cadeias de suprimentos globais e o comércio internacional, o que torna a descarbonização deste segmento particularmente desafiadora (IPCC, 2022).

Em 2023 no Brasil, o setor de transportes representou cerca de 1/3 do consumo final de energia, sendo que apenas 22,5% da sua matriz energética veio de fontes renováveis (EPE, 2024), além disso, o setor de transportes foi responsável por 44% das emissões de CO_{2e} do setor energético (SEEG, 2024), o que leva a necessidade de pensar em várias soluções, sem exclusão obrigatória do combustível fóssil, para a descarbonização deste setor, ainda mais se considerarmos que houve um crescimento de 47% do transporte de carga no Brasil de 2005 a 2015 (GONÇALVES e D'AGOSTO, 2017).

O setor de transporte marítimo é essencial para o desenvolvimento econômico global, sendo responsável pela movimentação de 80% do volume comercializado no mundo (United Nations, 2023). No Brasil, esse número é ainda mais expressivo, o setor chega a movimentar mais de 95% das cargas exportadas e importadas pelo país.

Portanto, é necessário a criação de roadmaps realistas para a transição energética dos diversos segmentos do setor, com base no princípio de políticas “sem arrependimentos”, sendo monitoradas, verificadas e reportadas regularmente as condições de mercado e inovações tecnológicas, além de evitar políticas que romovam bloqueios tecnológicos (*lock-in*), promovendo a competição entre as rotas tecnológicas (EPE, 2024).

Dessa forma, esta nota técnica tem como objetivo apresentar os resultados preliminares do projeto de pesquisa “Roadmap para a Descarbonização do Transporte Rodoviário de Longa Distância, Marítimo e Aéreo de Cargas no Brasil” conduzido pelo Laboratório de Transporte de Carga (LTC) da COPPE/UFRJ com apoio do Instituto Clima e Sociedade (iCS), analisando, a partir de uma síntese da visão de especialistas do setor de qual serão as rotas e estratégias possivelmente adotadas para a descarbonização, fornecendo um panorama das perspectivas e dos caminhos a serem seguidos para a transição energética e tecnológica do transporte marítimo.



2. METODOLOGIA

Foi aplicada uma pesquisa estruturada com 5 especialistas selecionados para o presente modo de transporte, que atuam nas áreas de produção de biocombustíveis, transporte marítimo internacional, navegação, cabotagem e logística, para os quais foi apresentado o contexto do projeto onde a pesquisa está inserida e do modo a ser avaliado. Os questionamentos incluídos na pesquisa foram baseados nos resultados obtidos a partir de uma revisão bibliográfica narrativa e documental, onde foram mapeadas as tendências nacionais e mundiais quanto a transição energética e tecnológica do transporte de carga (rodoviário de longa distância, marítimo e aéreo) e também dos resultados obtidos a partir do 5º Workshop Cenários Prospectivos para Uso de Energia em Transportes (WCPUET) (COSTA et al., 2024).

As perguntas do questionário foram do tipo escala de Likert para a probabilidade de uso das medidas de descarbonização (1 - pouco provável, 2 - menos provável, 3 - provável, 4 - mais provável e 5 - muito provável), relevância das barreiras para implementação das alternativas de descarbonização (barreira não relevante, pouco relevante, relevante, muito relevante e barreira crítica) e relevância das estratégias de descarbonização (estratégia não relevante, estratégia pouco relevante, relevante, muito relevante e estratégia crítica). Além disso, houve perguntas para classificação dos riscos em baixo, médio ou alto com relação ao potencial impacto e probabilidade de ocorrência. Foi realizado também um aprofundamento em qual seria o combustível alternativo focal para a transição energética do modo e qual o percentual de mistura do biocombustível no combustível marítimo é produtivo e economicamente viável para o Brasil, nos horizontes de 2035 e 2050. Por fim, foram feitas perguntas abertas onde os especialistas tiveram a oportunidade de deixar críticas e sugestões para a descarbonização do transporte marítimo de cargas do Brasil.



3. PANORAMA PARA A DESCARBONIZAÇÃO DO TRANSPORTE MARÍTIMO DE CARGAS

A seguir é apresentado uma análise da percepção dos especialistas com relação à descarbonização do transporte marítimo de cargas brasileiro. Como este estudo foi baseado na percepção dos especialistas com relação aos caminhos para a descarbonização do transporte marítimo, os resultados e conclusões apresentados se limitam as percepções deles.



3.1 Medidas de mitigação

Para entendermos qual a percepção dos especialistas com relação aos possíveis caminhos para descarbonização, foi indagado sobre qual a probabilidade, das medidas listadas, serem utilizadas para a descarbonização do modo, sendo classificadas em uma escala de Likert de 1 a 5, sendo 1 para pouco provável e 5 para muito provável. As medidas apresentadas foram as seguintes:

- Eletrificação dos portos (Equipamento; Frota interna, fornecimento de energia elétrica para embarcações atracadas; rebocadores/embarcações auxiliares);
- Práticas de condução eficientes na navegação, alinhadas às condições meteorológicas;
- Aumento do tamanho das embarcações e/ou composições;
- Integração de tecnologias de propulsão à vela elétricas (WAPs) para complementar a motorização tradicional;

- Adoção de materiais e tecnologias inovadoras de construção e funcionamento das embarcações para melhorar o design e o desempenho hidrodinâmico;
- Otimização inteligente de rotas e alocação de frota;
- Uso de combustível alternativo;
- Sistema de propulsão alternativo - hidrogênio verde em células de combustível.

Para os especialistas, o uso de combustível alternativo é a medida com maior probabilidade de ser adotada, seguida da otimização inteligente de rotas e alocação de frota e práticas de condução eficientes na navegação, demonstrando que o foco para a descarbonização do setor estará centrada no uso de combustíveis menos poluentes e melhorias, de curto e médio prazo, que levam a maior eficiência energética, sendo estas últimas consideradas essenciais para iniciar o processo de descarbonização antes da transição energética para combustíveis de zero emissão líquida. Entretanto, eles consideram menos provável a ocorrência da eletrificação dos portos e uso de sistemas de propulsão alternativos, indicando que esses não serão os focos da descarbonização para o transporte marítimo.

No geral, para o uso de combustíveis alternativos existem pontos cruciais para a sua implementação e uso. No quesito segurança, existe uma preocupação com a manipulação e armazenamento de combustíveis não tradicionais, como é o caso do uso de amônia, desmotivando o uso desse tipo de combustível, que para além disso requer alterações ou até mesmo substituição da frota de embarcações para atender as condições de armazenagem e uso do combustível, o que torna a uma operação mais onerosa, levando em consideração que a vida útil das embarcações é longa, dificultando a adesão a combustíveis novos, cenário que favorece o uso do biodiesel e outros combustíveis já utilizados pelo mercado em outros modos de transporte.

No que se refere a infraestrutura portuária, houve um entendimento dos especialistas que apesar deles não serem o ponto focal das estratégias adotadas, eles ainda desempenham papel fundamental na cadeia de descarbonização, já que é necessário o desenvolvimento de uma infraestrutura de abastecimento para os combustíveis alternativos, desse modo, torna-se necessário o investimento em tecnologia e equipamentos portuários para adequação às regulamentações de manuseio e operação dos combustíveis alternativos. Além disso, a coordenação entre portos, armadores e fornecedores de combustíveis é essencial para garantir a disponibilidade e uso das soluções alternativas.

● 3.2 Percepções sobre a descarbonização e rotas tecnológicas

Existiu um consenso de que a tendência para o uso de combustível alternativo estará focada na produção e uso de biodiesel convencional, onde 60% dos especialistas considerou esta rota como a principal e prioritária dos investimentos e políticas públicas para o horizonte 2026-2035 e 2035-2050 (Figura 1), sendo a segunda alternativa o uso de etanol somente (20%) ou associado ao uso do diesel verde (HVO - Óleo Vegetal Hidrotratado; 20%).

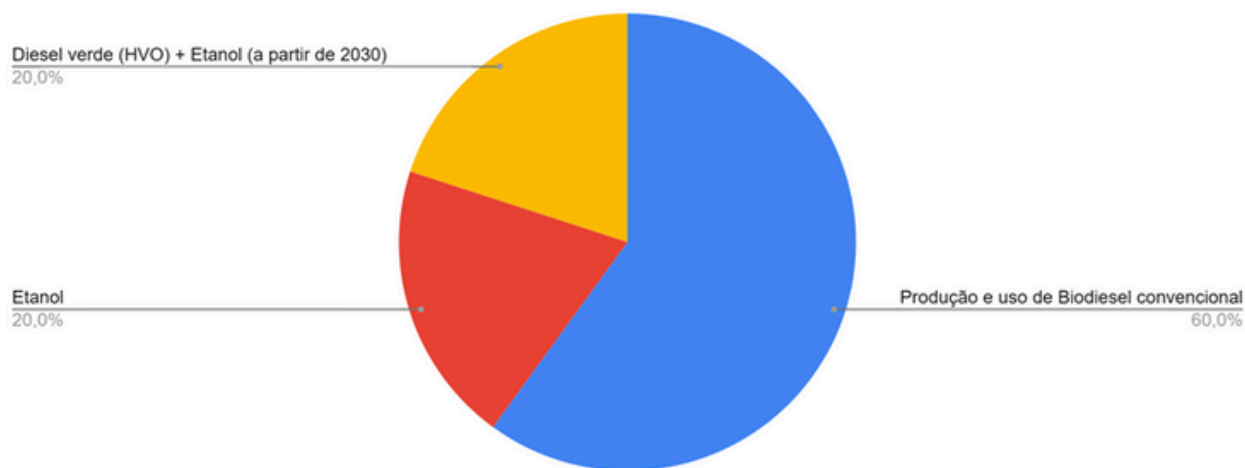


Figura 1: Foco principal e prioritário dos investimentos e políticas públicas (2026-2035 e 2035-2050).

No que diz respeito a participação do biocombustível na mistura com o combustível fóssil, 60% dos especialistas acreditam que se pode chegar a 100% de biocombustível sendo economicamente factível para ser utilizado em substituição ao combustível fóssil até 2035, tendo o restante considerado que o percentual deve chegar a 30%. Considerando o ano de 2050 o cenário seria semelhante, com um especialista prevendo o aumento da mistura de 30% para 80%.

Tratando-se dos riscos relacionados à descarbonização do transporte marítimo, nota-se que o impacto dos custos operacionais é o principal desafio a ser vencido e com uma alta probabilidade de ocorrência com impacto direto na aplicação das medidas de descarbonização, uma vez que a disponibilidade e custo dos combustíveis impactam diretamente os custos operacionais, pela forte necessidade de investimento para sua produção e infraestrutura de abastecimento.

Na Figura 2, é possível observar a matriz de risco para o transporte marítimo. Para a alocação dos riscos dentro da matriz, para casos de convergência da resposta foi considerada a moda, quando não houve convergência entre as respostas foi considerada a média.

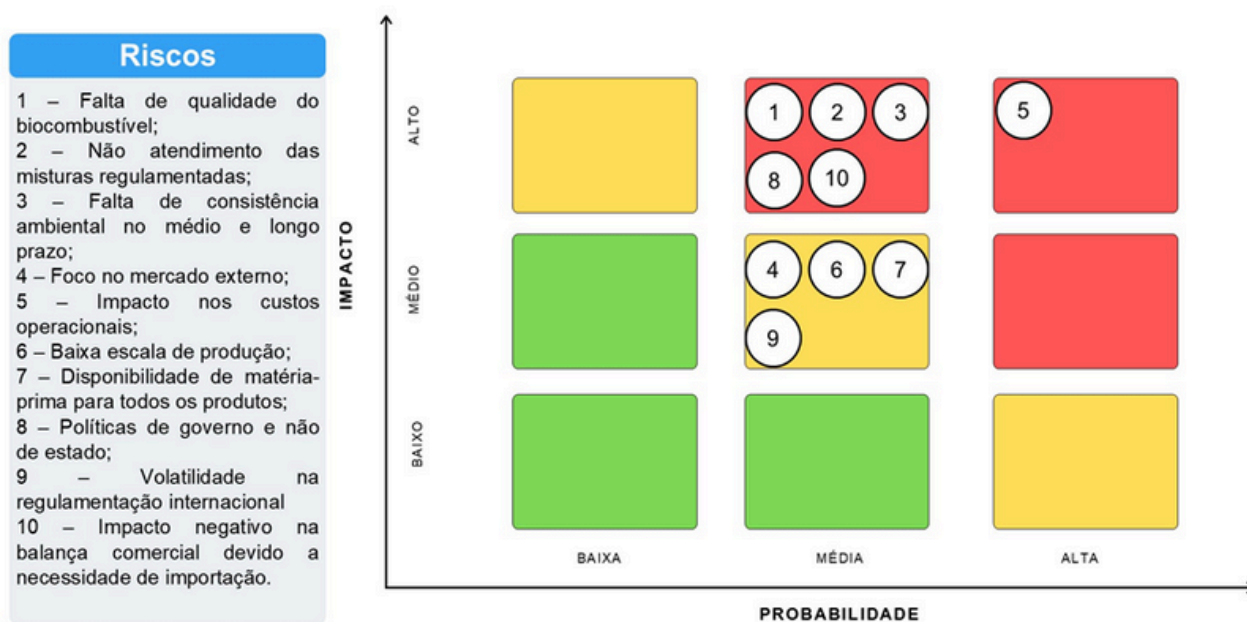


Figura 2: Matriz de risco do transporte marítimo de cargas.

Dentre os riscos associados, foi enfatizado pelos especialistas a importância das normas e regulamentos claros e consistentes para ampliar o incentivo à adoção das medidas de descarbonização, garantindo o atendimento das misturas regulamentadas e a qualidade dos biocombustíveis, mas também fornecendo previsibilidade ao mercado e incentivando investimentos, além disso a falta de políticas públicas é considerada uma barreira crítica para o avanço da descarbonização do modo de transporte, bem como o investimento elevado, incertezas relacionadas à operacionalização com novos combustíveis e suas infraestruturas de distribuição.

É importante notar, que existe uma influência das regulamentações internacionais, pautadas principalmente pela Organização Marítima Internacional (IMO), que podem ser definidas baseadas em matrizes energéticas, em especial a europeia, que não reflete a realidade brasileira, que se torna um empecilho para adoção de medidas mais condizentes com a matriz energética do país.

Algumas das estratégias consideradas fundamentais para os especialistas estão pautadas no estabelecimento de normas e regulamentações, na criação de uma política nacional de uso de energia em transportes e no estabelecimento de parcerias público-privadas, que quando alinhadas com a existência de incentivos fiscais, subsídios financeiros e comercialização de carbono, têm-se o cenário ideal para incentivar a adoção de tecnologias mais limpas e acelerar o processo de descarbonização.

No caso do uso de combustíveis alternativos como o metanol, amônia, hidrogênio e combustíveis sintéticos, eles foram apresentados aos especialistas como possíveis frentes para a descarbonização do transporte marítimo, porém, houve um consenso dos especialistas que estes combustíveis não devem ser o foco principal dos investimentos e políticas públicas.



4. RECOMENDAÇÕES

Com base nas percepções dos especialistas, recomenda-se:

- ❖ Estabelecer um Marco Regulatório: Desenvolver e implementar políticas e regulamentações nacionais que complementam as diretrizes internacionais, oferecendo segurança jurídica e incentivos para a descarbonização do transporte marítimo;
- ❖ Apoiar a Pesquisa e Desenvolvimento (P&P): Destinar recursos e fomentar parcerias para P&P em combustíveis alternativos, tecnologias de propulsão e soluções de eficiência energética específicas para o contexto brasileiro;
- ❖ Investir em Infraestrutura Portuária: Priorizar investimentos na modernização dos portos para que seja possível o abastecimento de combustíveis alternativos de forma segura;
- ❖ Promover a Colaboração Setorial: Criar fóruns e plataformas para a discussão e diálogo entre os diversos atores da cadeia do transporte marítimo para alinhar estratégias e compartilhar conhecimentos e melhores práticas;
- ❖ Incentivar a Modernização da Frota: Oferecer programas de incentivo para a adaptação das embarcações existentes e para a construção de novas embarcações com tecnologias de baixa ou zero emissão;

- Monitorar e Avaliar o Progresso: Implementar um sistema robusto de monitoramento das emissões e do progresso da descarbonização para ajustar as estratégias conforme necessário.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A visão dos especialistas aponta que existe uma gama de ações que devem ser aplicadas de forma conjunta para o avanço da descarbonização do transporte marítimo, com o uso de combustíveis alternativos liderando entre as medidas de mitigação adotadas para a descarbonização do modo. Tanto para 2035, quanto para 2050, houve um entendimento dos especialistas que o combustível alternativo principal para a descarbonização a ser usado no Brasil será o biodiesel convencional.

Apesar das principais barreiras estarem conectadas com a políticas públicas, alto investimento, operacionalização e infraestrutura de distribuição, os especialistas enxergam que estratégias voltadas para a regulamentação e estabelecimento de metas e diretrizes, bem como a transição para o de combustíveis de baixa ou zero emissão líquida, melhorias e modernização da frota para ganhos de eficiência energética e aprimoramento da infraestrutura portuária para acompanhar os avanços tecnológicos serão os pilares que guiarão esse avanço, fortalecendo a transição energética e tecnológica para o transporte marítimo.

REFERÊNCIAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023. Produção e Fornecimento de Biocombustíveis. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis>.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2024. Combustíveis Sintéticos e a Regulação da ANP. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/eventos/serie-de-workshops-proximos-passos-combustivel-do-futuro-e-novas-politicas-do-setor-de-oleo-e-gas/workshop-captura-e-armazenamento-de-carbono-ccs-e-combustiveis-sinteticos/fabio-da-silva-vinhado-anp.pdf>

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2025. Produção de Derivados de Petróleo e Processamento de Gás Natural. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>

COSTA, M. G. et al. V Workshop de Cenários Prospectivos de Uso de Energia em Transportes. Rio de Janeiro, RJ: IBTS, 2024.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Plano Decenal de Expansão de energia 2034. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2034>.

GONÇALVES, D. N. S.; D'AGOSTO, M. de A. Future prospective scenarios for the use of energy in transportation in Brazil and GHG emissions, Business as Usual (BAU) scenario – 2050, Final Report. 1ª ed, Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), Rio de Janeiro, 2017.

GONÇALVES, D. N. S. Elaboração de Cenários Prospectivos para o Uso de Energia e Emissões de Gases de Efeito Estufa no Setor de Transportes Brasileiro - Uma Abordagem Multinível. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

IEA – International Energy Agency, 2023. Net Zero Roadmap: A global Pathway to keep the 1,5ª g Goal in reach. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022. AR6 - Mitigation of Climate Change. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf

MAPFRE, 2025. Amônia: uma solução imediata para a descarbonização naval. Disponível em: <https://www.mapfreglobalrisks.com/pt-br/gerencia-riscos-seguros/estudos/amonia-solucao-imediata-descarbonizacao-naval>.

MME – Ministério de Minas e Energia, 2025. Hidrogênio. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/hidrogenio>

SEEG – SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, 2024. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil (1970-2023). Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>.

United Nations, 2023. Review of Maritime Transport - 2023, Towards a green and just transition. United Nations Conference on trade and development. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2023_en.pdf.





Anexo I

Glossário dos combustíveis

Amônia: É um gás incolor, com um odor forte e característico, amplamente utilizado na indústria, principalmente na produção de fertilizantes e na fabricação de produtos de limpeza. Para uso no transporte marítimo, a amônia é utilizada em estado líquido a temperatura ambiente e pressões mais baixas (MAPFRE, 2025).

Biodiesel: O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação. Por meio desse processo, os triglicerídeos presentes nos óleos e gordura animal reagem com um álcool primário, metanol ou etanol, gerando dois produtos: o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por processos de purificação para adequação à especificação da qualidade, sendo destinado principalmente à aplicação em motores de ignição por compressão (ciclo Diesel) (ANP, 2023).

Combustíveis Sintéticos (e-fuels): Combustível sintetizado a partir de rotas tecnológicas e que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Alguns dos combustíveis que podem ser produzidos de forma sintética são o e-metanol, e-diesel e amônia verde (ANP, 2024).

Diesel Verde: Combustível renovável para motores a combustão de ciclo diesel, produzido a partir de matérias-primas renováveis, como gorduras de origem vegetal e animal, cana-de-açúcar, etanol e outras biomassas (ANP, 2023).

Etanol: É um combustível renovável, produzido a partir da fermentação de açúcares, no Brasil, a principal matéria prima para a produção do etanol é a cana-de-açúcar (ANP, 2023).

Hidrogênio: O hidrogênio como combustível no transporte pode ocorrer de duas formas: na combustão direta (motores de combustão interna) ou células a combustível (reação entre o hidrogênio e oxigênio em uma célula combustível que gera eletricidade para um motor elétrico) (MME, 2025).

Metanol: Também conhecido como álcool metílico, é um produto químico com características de combustível, normalmente ele é usado em diversas aplicações industriais, como solvente, na produção de biodiesel e na fabricação de formaldeído, atualmente está sendo avaliado como combustível marítimo, especialmente o metanol verde (ANP, 2025).

Óleo Combustível: Combustível líquido derivado do petróleo, com classificação diferenciado pelo teor de enxofre. É utilizado principalmente em grandes navios, embarcações e em algumas indústrias para a geração de calor e energia em caldeiras e fornos (ANP, 2025).





*Por um Brasil resiliente e
descarbonizado.*



Laboratório de
Transporte de Carga

COPPE
UFRJ

