

Roteiro Naval Carbono Zero

Roteiro para a Descarbonização da Indústria Naval

FICHA TÉCNICA

Designação do documento

RNCZ (Roteiro Naval Carbono Zero)

Roteiro para a Descarbonização da Indústria Naval

Promotor

Fórum Oceano



Confederação Empresarial do Alto Minho



Equipa de trabalho

Ana Mestre (3drivers)

António Lorena (3drivers)

Carolina Rosa (Ecoprogresso)

Susana Ribeiro (Ecoprogresso)

Financiamento



Data

26 de Dezembro de 2025

Índice

<i>Sumário Executivo</i>	6
<i>Acrónimos</i>	8
<i>1 Enquadramento</i>	9
A Indústria Naval	10
Oportunidades e Barreiras	12
Objetivos do roteiro RNCZ	13
<i>2 Contexto Internacional</i>	15
Rumo à Neutralidade Carbónica	16
Tendências Internacionais	17
<i>3 O Setor CRMN em Portugal</i>	22
Empresas	23
Processo produtivo	25
Construção Naval	25
Reparação e Manutenção Naval	27
Fontes de emissões de GEE	28
Auditorias Energéticas	34
<i>4 Tecnologias e Vetores de Descarbonização</i>	36
Tecnologias e Vetores	37
Eficiência Energética	37
Energias Renováveis	38
Substituição de Combustíveis Fósseis	39
Digitalização	39
Eficiência de materiais	39
Compensação de emissões	40
Medidas de descarbonização	40
Análise de Custos e Benefícios	42
<i>5 Trajetórias de Descarbonização</i>	45
Projeções para o setor	46
Trajectoria de Referência	47
Cenário de descarbonização	48
<i>6 Modelo de Governação</i>	58
<i>7 Considerações finais</i>	61

Índice de Figuras

Figura 1 - Caracterização da situação de referência e projeção correspondente ao cenário Neutralidade Carbónica do setor CRMN	6
Figura 2 - Nº de empresas dos setores de Construção e Reparação & Manutenção Naval entre 2019 e 2023 ¹⁶	23
Figura 3 - VAB em M € dos subsectores de Construção e Reparação Naval entre 2019 e 2022	24
Figura 4 - Ciclo de vida da construção de um navio	26
Figura 5 - Consumo energético do CAE 30 e CAE 33, em 2022	29
Figura 6 - Consumo energético das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150	30
Figura 7 - Perfil energético das categorias Construção Naval e Reparação Naval e total do setor	31
Figura 8 - Emissões de GEE das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150	31
Figura 9 - Perfil de emissões das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150	32
Figura 10 - Perfil de emissões das categorias Construção Naval e Reparação Naval	33
Figura 11 - Perfil relativo de emissões de acordo com o processo Barge {RER} barge production Cut-off, U, normalizado para 1t de aço	34
Figura 12 - Caracterização da Situação de referência do consumo de energia e emissões de GEE do setor CRMN em Portugal	47
Figura 13 – Projeção de evolução das emissões de GEE para a situação de referência, para os setores de construção e reparação naval.	48
Figura 14 - Projeção da trajetória de Referência e cenário Neutralidade Carbónica para as categorias de Construção (em cima) e Reparação e Manutenção Naval (em baixo), entre 2025 e 2050	49
Figura 15 - Variação do perfil de emissões de GEE para cada uma das categorias, Construção Naval e Reparação e Manutenção Naval	50
Figura 16 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria Construção Naval	51
Figura 17 - Variação dos vetores energéticos ao longo do tempo, na categoria de Construção Naval	52
Figura 18 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria Reparação e Manutenção Nava	53
Figura 19 - Variação dos vetores energéticos ao longo do tempo, na categoria de Reparação e Manutenção Naval	54
Figura 20 - Projeção da trajetória de Referência e Neutralidade Carbónica para o setor CRMN, entre 2025 e 2050	55
Figura 21 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria CRMN	57
Figura 22 - Variação dos vetores energéticos no período analisado, no setor CRMN	57
Figura 23 - Modelo de governança das partes interessadas no RNCZ	59

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comparação Tendências Internacionais e RNCZ	20
Tabela 2 – Análise dos indicadores energéticos	35
Tabela 3 - Escala de avaliação aplicada a cada critério, para a implementação das medidas de descarbonização do setor CRMN, em Portugal	42
Tabela 4 - Avaliação da viabilidade de implementação das medidas de descarbonização no setor de CRMN em Portugal, com base nos critérios previamente identificados	43

O Roteiro Naval Carbono Zero do setor da Construção, Reparação e Manutenção Naval (CRMN) tem como principal objetivo apoiar a transição climática do setor rumo à neutralidade carbónica até 2050, em alinhamento com os objetivos nacionais definidos PNEC2030 e na Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica.

A indústria CRMN, corresponde aos grupos CAE 30111 – Construção de embarcações metálicas e estruturas flutuantes, exceto de recreio e desporto; 30112 – Construção de embarcações não metálicas, exceto de recreio e desporto; 30120 - Construção de embarcações de recreio e desporto e 33150 – Reparação e manutenção de embarcações. Embora não constitua um setor energeticamente muito intensivo, assume relevância no contexto da preparação e concretização da descarbonização da economia nacional, contribuindo para o cumprimento dos objetivos climáticos estabelecidos a nível europeu.

O presente roteiro identifica oportunidades concretas de redução de emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE), assentes na melhoria da eficiência energética, na modernização tecnológica e na integração progressiva de fontes de energia renovável. Neste contexto, é definida uma trajetória de referência, que permite caracterizar a evolução expectável das emissões ao longo do tempo e servir de base de comparação. Paralelamente, é modelado o cenário de descarbonização, Neutralidade Carbónica, o qual integra um conjunto de medidas específicas, definidas tendo em consideração as características e especificidades do setor CRMN.

O documento estrutura-se em seis tecnologias e vetores de descarbonização, nomeadamente: Eficiência Energética, Energias Renováveis, Substituição de Combustíveis Fósseis, Digitalização, Eficiência de Materiais e Compensação de Emissões

A análise comparativa entre a trajetória de Referência (2025) e o cenário Neutralidade Carbónica (2050), permite aferir a evolução do perfil carbónico do setor. Em 2025, o setor CRMN apresenta um total de 10 078 tCO₂e, sendo que os combustíveis fósseis, designadamente produtos petrolíferos e gás natural, representam cerca de 41% do consumo energético total, traduzindo-se em aproximadamente 64% das emissões totais de GEE.

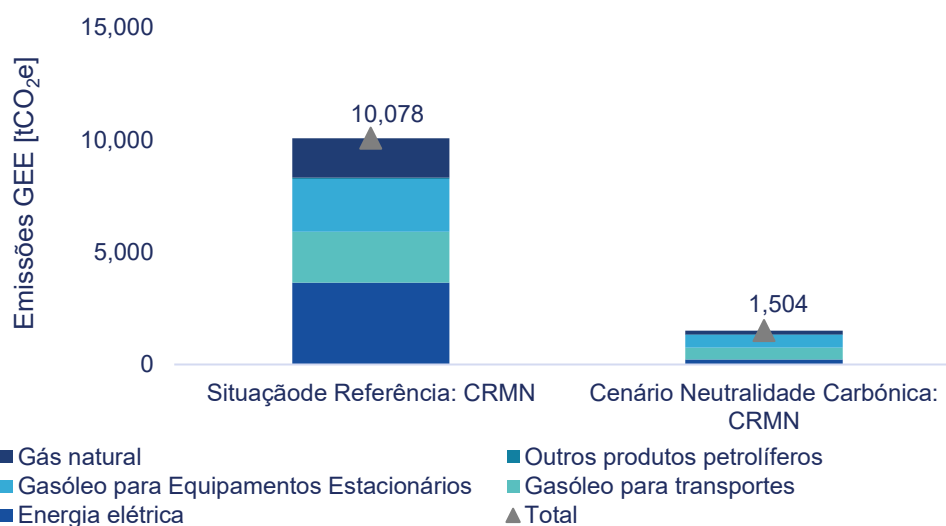


Figura 1 - Caracterização da situação de referência e projeção correspondente ao cenário Neutralidade Carbónica do setor CRMN

A Figura 1 apresenta a caracterização da situação de referência e a projeção correspondente ao cenário Neutralidade Carbónica.

Em 2050, considerando a implementação das medidas de descarbonização previstas, estima-se que o setor apresente emissões residuais na ordem das 1 504 tCO₂e, o que representa uma redução global de 85% face à situação de Referência. Estas emissões, à data, não são passíveis de neutralização direta, atendendo à incerteza associada à evolução tecnológica e à disponibilidade futura de soluções tecnicamente e economicamente viáveis.

Neste contexto, caso não se revele viável a implementação de medidas adicionais de descarbonização que permitam eliminar integralmente as emissões remanescentes o setor poderá recorrer à compensação de emissões, através do apoio ou participação em projetos de redução ou remoção de carbono. Estas ações poderão ser concretizadas por meio de diferentes mecanismos disponíveis, incluindo o Mercado de Carbono, disponível no contexto nacional, assegurando assim o alcance da neutralidade carbónica.

ABC	Arqueação Bruta Compensada
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
CAE	Classificação de Atividade Económica
CO _{2e}	Dióxido de Carbono equivalente
COV	Composto Orgânico Volátil
CCUS	<i>Carbon Capture, Utilisation and Storage</i>
CRMN	Construção, Reparação e Manutenção Naval
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
FE	Fator de Emissão
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GNL	Gás Natural Liquefeito
GPL	Gás de Petróleo Liquefeito
PNEC 2030	Plano Nacional de Energia e Clima
RNCZ	Roteiro Naval Carbono Zero
RNC2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica
UE	União Europeia
VN	Volume de Negócios

1 Enquadramento

O Roteiro Naval Carbono Zero (RNCZ) configura-se como uma iniciativa estratégica de planeamento setorial destinada a apoiar a transição sustentável do setor da Construção, Reparação e Manutenção Naval (CRMN), em alinhamento com as metas nacionais e europeias de neutralidade carbónica. O projeto visa estabelecer um quadro técnico e metodológico sólido para a descarbonização gradual e sustentada do setor, promovendo a integração de tecnologias de baixo carbono, soluções de eficiência energética e os princípios de economia circular, assegurando simultaneamente a viabilidade económica e a competitividade industrial.

A abordagem metodológica adotada baseia-se numa integração entre modelação energética e ambiental, análise projetiva de cenários de evolução setorial e envolvimento estruturado das partes interessadas, de forma a identificar com rigor os principais vetores de mitigação, as barreiras tecnológicas e as oportunidades de inovação. Este processo incluirá o desenvolvimento de cenários comparativos, onde a trajetória de referência será contrastada com o cenário de descarbonização – Neutralidade Carbónica, permitindo avaliar impactos em termos de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), consumo energético e custos associados.

O RNCZ constitui, assim, uma ferramenta estratégica e técnica de apoio à decisão, orientada para a modernização e sustentabilidade do setor naval, reforçando a sua resiliência face à transição climática e consolidando o seu posicionamento competitivo numa economia descarbonizada e de baixo carbono.

A Indústria Naval

O setor da Construção, Reparação e Manutenção Naval constitui um pilar estratégico da economia marítima e industrial portuguesa, englobando atividades de engenharia naval, fabrico, montagem, reconversão e manutenção de embarcações e estruturas flutuantes. Os estaleiros navais, enquanto núcleo operacional deste setor, são instalações onde se desenvolvem processos produtivos de elevada complexidade técnica e intensidade energética, que abrangem operações de corte e conformação de metais, soldadura, jateamento, decapagem, pintura, montagem e ensaios finais. Estas unidades industriais, situadas maioritariamente em zonas costeiras e portuárias, assumem um papel determinante na dinâmica económica, tecnológica e logística nacional, mas representam igualmente fontes significativas de impacto ambiental, nomeadamente devido ao consumo energético intensivo, à utilização de substâncias perigosas e à produção de resíduos industriais¹.

O setor CRMN compreende as atividades de construção, reconstrução e transformação de embarcações e estruturas flutuantes metálicas e não metálicas (e.g. madeira, materiais compósitos) para fins comerciais, de recreio e desporto². Compreende ainda a reparação e manutenção de embarcações³. O tipo de embarcações que constituem o objeto do setor são muito diversas e compreendem embarcações metálicas (e.g. petroleiros, navios, rebocadores e ferry-boats, entre outros) e não metálicas, estruturas metálicas flutuantes (e.g. barcos-faróis, docas flutuantes, gruas, entre outros) e embarcações de recreio e desporto (e.g. barcos à vela, canoas, motas de água, etc).

A análise do ciclo produtivo evidencia a existência de pontos críticos de consumo energético e de impacto ambiental localizados nas fases de construção, manutenção e reparação naval. As operações de soldadura, corte e movimentação de cargas destacam-se pelo elevado

¹ **RINA**. *Promoting Clean Green Shipyards for a Zero-Emission Future*. 2023. Disponível em: <https://rina.org.uk/publications/the-naval-architect/promoting-clean-green-shipyards-for-a-zero-emission-future/>

² Correspondentes aos Códigos de Atividade Económica (CAE): 30111 - Construção de Embarcações e Estruturas Flutuantes, Excepto de Recreio e Desporto, 30112 - Construção de Embarcações Não Metálicas, Excepto de Recreio e Desporto e 30120 - Construção de Embarcações de Recreio e de Desporto.

³ Correspondente ao CAE 33150 – Reparação e Manutenção de Embarcações.

consumo de energia elétrica e térmica, sendo responsáveis por emissões diretas de dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de azoto (NO_x). Os processos de pintura e tratamento de superfícies constituem fontes relevantes de compostos orgânicos voláteis (COV) e partículas em suspensão, enquanto as atividades de decapagem e jateamento abrasivo originam resíduos metálicos e poeiras potencialmente contaminantes. Adicionalmente, a forte dependência de combustíveis fósseis para o funcionamento de maquinaria pesada e transporte interno contribui de forma expressiva para a pegada carbónica dos estaleiros⁴.

O setor CRMN opera num contexto de pressão regulatória crescente, determinado pela convergência de metas internacionais, europeias e nacionais de neutralidade carbónica e sustentabilidade ambiental. A Organização Marítima Internacional (IMO) estabeleceu, através da *IMO GHG Strategy (2023)*, o objetivo de reduzir em 70% as emissões absolutas de gases com efeito de estufa até 2040 e atingir a neutralidade carbónica até 2050, metas que abrangem toda a cadeia de valor marítima, incluindo os estaleiros e as infraestruturas de apoio. A nível europeu, o Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal), o pacote legislativo “Fit for 55” e a Diretiva de Eficiência Energética (UE) 2023/1791 impõem requisitos mais rigorosos em matéria de eficiência energética, eletrificação e incorporação de energia proveniente de fontes renováveis. Em Portugal, o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030)⁵ e a Estratégia Nacional para o Mar 2021–2030 reforçam a necessidade de modernização e descarbonização dos setores marítimos, com particular enfoque na promoção da economia azul sustentável e na adoção de tecnologias limpas⁶.

A transição para estaleiros de baixas emissões enfrenta, contudo, barreiras técnicas, económicas e infraestruturais relevantes. Destacam-se a elevada intensidade energética dos processos industriais e a limitada disponibilidade de alternativas tecnológicas de baixo carbono, a obsolescência dos equipamentos e infraestruturas, os custos de investimento elevados e os longos períodos de retorno financeiro que condicionam a adoção de soluções inovadoras, bem como o défice de mão de obra qualificada nas áreas da engenharia verde, automação e digitalização. Acrescem ainda a complexidade logística e os constrangimentos espaciais característicos das zonas portuárias, assim como os desafios associados à gestão de resíduos perigosos e materiais compósitos, especialmente nas fases de manutenção e desmantelamento¹.

Não obstante estes desafios, o setor apresenta um elevado potencial de transformação tecnológica e inovação ambiental, sustentado por diversos vetores de transição. Entre estes destacam-se a eletrificação progressiva dos equipamentos e veículos industriais, apoiada pela integração de energias renováveis descentralizadas, como a solar, a eólica e o hidrogénio verde; a digitalização e automação dos estaleiros, através da implementação de sistemas de monitorização energética, controlo inteligente e gémeos digitais; a substituição de produtos e revestimentos químicos convencionais por alternativas ecológicas de baixo teor de solventes e menor toxicidade; e a adoção de práticas de economia circular que promovem a recuperação e reciclagem de metais, a reutilização de materiais e a valorização de resíduos. Complementarmente, a incorporação de princípios de conceção sustentável (*eco-design*) e de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) nas fases de projeto e fabrico, associada à criação de sinergias intersetoriais entre estaleiros, portos e operadores logísticos, permitirá potenciar a eficiência coletiva, reduzir as emissões e reforçar a competitividade do setor⁷.

Em síntese, o setor da Construção, Reparação e Manutenção Naval encontra-se num ponto de inflexão estratégico, condicionado por exigências ambientais e regulatórias cada vez mais rigorosas, mas impulsionado por oportunidades tecnológicas sem precedentes. A transição

⁴ European Maritime Safety Agency. *EMSA Facts & Figures 2022*. 2022. Disponível em: <https://www.emsa.europa.eu/about/mission-statements/items.html?cid=80&id=4945>

⁵ Governo de Portugal. (2024). Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030

⁶ APA. *Plano Nacional de Energia e Clima 2030*. 2023. Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/Clima/Planeamento/20241030_pnec2030_maen.pdf

⁷ European Commission. *Ships and Circular Economy – Waste and Recycling Initiatives*. 2023. Disponível em: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/ships_en

para estaleiros verdes (“*green shipyards*”) representa, assim, um passo essencial para assegurar a resiliência, a competitividade e o alinhamento do setor CRMN com os objetivos nacionais e europeus de neutralidade carbónica e sustentabilidade a longo prazo.

Oportunidades e Barreiras

O setor CRMN encontra-se num ponto de inflexão estratégico, impulsionado por exigências ambientais crescentes, evolução tecnológica e dinâmicas globais de mercado. As oportunidades de transformação são significativas, mas coexistem com barreiras estruturais e conjunturais que exigem planeamento estratégico, investimentos consistentes e alinhamento com as políticas nacionais e internacionais de descarbonização.

No domínio das oportunidades, destaca-se, em primeiro lugar, a expansão da capacidade de construção naval. O crescimento global do transporte marítimo, particularmente associado à logística de matérias-primas críticas para a transição energética (como lítio, níquel, cobalto, cobre e terras raras), aumenta a procura por novos navios e pelo retrofit de frotas existentes. Esta tendência, com projeções de duplicação da tonelagem global até 2035, representa uma oportunidade relevante para o setor português, permitindo a modernização de estaleiros, a ampliação da capacidade produtiva e a especialização em embarcações de elevada complexidade tecnológica^{8,9}.

A transição para combustíveis alternativos e sistemas de propulsão de baixas emissões constitui outro vetor estratégico crítico. A adoção de hidrogénio verde, amónia, metanol e sistemas híbridos ou elétricos, em conformidade com os objetivos da IMO (redução de 70% das emissões de GEE até 2040 e neutralidade carbónica até 2050) e com o quadro legislativo europeu (*Fit for 55*, Diretiva de Eficiência Energética 2023/1791), abre um mercado para estaleiros capazes de conceber, construir e adaptar navios com tecnologias de baixo carbono. Estaleiros que dominem estas soluções podem consolidar liderança tecnológica, aceder a financiamentos preferenciais, participar em projetos-piloto internacionais e oferecer serviços de retrofit energético, reforçando a competitividade frente a estaleiros de outras regiões^{7,8}.

A digitalização e automação industrial, através da implementação de “smart shipyards”, gémeos digitais, Internet das Coisas (IoT), fabrico modular e monitorização inteligente de consumos energéticos e emissões, representa uma oportunidade para reduzir custos operacionais, aumentar a eficiência produtiva, diminuir prazos de entrega e reduzir impactos ambientais. Estes avanços permitem que os estaleiros portugueses alcancem padrões de produção sofisticados, se posicionem em segmentos de nicho e integrem princípios de economia circular e análise de ciclo de vida^{1,9}.

Outras oportunidades estratégicas incluem o reposicionamento geográfico e especialização por nicho de mercado. Considerando que a construção naval global está concentrada maioritariamente na Ásia, os estaleiros portugueses podem focar-se em segmentos de maior valor, como manutenção e retrofit de navios verdes, embarcações para logística de energia renovável offshore, transporte de minerais críticos e soluções híbridas. A participação em consórcios internacionais, como o Global Green Shipyard Alliance, permite ainda transferência de conhecimento tecnológico, implementação de padrões ESG harmonizados e acesso a financiamento internacional^{1,9}.

No entanto, o setor enfrenta barreiras estruturais e conjunturais que condicionam a exploração plena destas oportunidades. A incerteza tecnológica e de combustível constitui um desafio crítico: a indefinição sobre qual será o combustível predominante e os sistemas

⁸ Brooks, N. *Energy Transitions in Global Shipping: Challenges and Opportunities*. Energy Analytics, 2025. Disponível em: <https://energyanalytics.org/wp-content/uploads/2025/03/2025-02-NCEA-Energy-Transitions-Global-Shipping-Challenge-Brooks.pdf>

⁹ Hydreco Marine. *Trends Shaping the Future of Shipyards and Shipbuilding*. 2025. Disponível em: <https://hydrecmarine.com/trends-shaping-the-future-of-shipyards-and-shipbuilding/>

de propulsão a adotar aumenta o risco de obsolescência dos investimentos em navios e infraestruturas, dificultando o planeamento estratégico⁸. A capacidade industrial limitada, derivada do envelhecimento das infraestruturas, da redução do número de estaleiros ativos e da complexidade técnica dos processos, exige elevados investimentos em modernização, criando constrangimentos à rápida resposta às novas demandas^{1,8}.

Os custos de investimento elevados e a necessidade de cumprimento rigoroso da regulamentação (IMO, Fit for 55, legislação nacional) constituem barreiras financeiras significativas, particularmente para estaleiros de menor escala^{7,10}. A competição global intensa, dominada por estaleiros asiáticos de grande escala e baixo custo, obriga os estaleiros portugueses a focarem-se em diferenciação tecnológica, inovação e segmentos de alto valor agregado. Por último, a complexidade da cadeia de fornecimento de matérias-primas críticas representa um risco adicional: a concentração geográfica de refinarias, os riscos logísticos e a volatilidade de preços podem comprometer a continuidade produtiva e aumentar os custos de construção naval associada à transição energética⁸.

O setor CRMN português dispõe de oportunidades estratégicas robustas, incluindo aumento de capacidade, adoção de combustíveis e tecnologias de baixo carbono, digitalização, automação e especialização em nichos de alto valor. Contudo, a concretização destes ganhos depende da superação de barreiras estruturais e conjunturais, nomeadamente incerteza tecnológica, capacidade industrial limitada, custos elevados, competição global e vulnerabilidades na cadeia de fornecimento. A convergência entre inovação tecnológica, economia circular, digitalização, flexibilidade de projeto e colaboração internacional constitui o vetor central para a transformação sustentável do setor, garantindo resiliência, competitividade e alinhamento com os objetivos nacionais e europeus de neutralidade carbónica e sustentabilidade a longo prazo.

Objetivos do roteiro RNCZ

O RNCZ tem como objetivo global desenvolver um plano estratégico de descarbonização do setor da CRMN, promovendo a sustentabilidade industrial, reforçando a competitividade do setor e preparando-o para atingir a neutralidade carbónica até 2050. Este objetivo global é operacionalizado através de um conjunto de objetivos específicos interligados, que estruturam a abordagem metodológica e orientam a implementação de ações concretas e exequíveis.

Em primeiro lugar, o Roteiro propõe a elaboração de cenários prospectivos de emissões de gases com efeito de estufa (GEE) até 2050, com base em metodologias reconhecidas internacionalmente, como GHG Protocol. Estes cenários abrangem as emissões diretas (Âmbito 1), as emissões associadas à produção de energia consumida (Âmbito 2) e as emissões indiretas ao longo da cadeia de valor (Âmbito 3), permitindo avaliar a evolução da intensidade de emissões, o consumo energético e os impactos económicos das diferentes trajetórias de descarbonização. A análise destes cenários fornece uma base sólida para a tomada de decisão estratégica e para a definição de prioridades de intervenção no setor.

Simultaneamente, o Roteiro visa mapear e caracterizar tecnologias emergentes e processos inovadores aplicáveis ao setor, incluindo a eletrificação de equipamentos e processos, a substituição de tecnologias obsoletas, a incorporação de energias renováveis, a otimização de processos industriais e a adoção de estratégias de redução de emissões. Esta análise permite identificar o potencial de mitigação ambiental e os benefícios económicos de cada solução, promovendo a sua implementação em conformidade com as capacidades e especificidades dos estaleiros portugueses.

¹⁰ IMO (2023). IMO Strategy on Reduction of GHG emissions from ships. Disponível em: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf>

A eficiência no uso de recursos e a promoção da economia circular constituem outro vetor central do roteiro. São propostas medidas que visam otimizar a utilização de matérias-primas, fomentar a reutilização e a reciclagem de materiais, substituir produtos de elevado impacto ambiental e integrar princípios de *eco-design* e ACV. Estas ações contribuem para a maximização da eficiência energética, a redução de impactes ambientais e a consolidação de práticas industriais mais sustentáveis ao longo de toda a cadeia produtiva.

A avaliação da viabilidade técnica e económica das soluções propostas constitui igualmente um pilar do roteiro. Este processo permite aferir a exequibilidade das opções de descarbonização face às capacidades industriais existentes, às limitações logísticas e às necessidades de infraestruturas, estabelecendo prioridades de investimento com base em análises de custo-benefício. Desta forma, garante-se que as trajetórias de implementação sejam custo-eficazes, equilibrando sustentabilidade, competitividade e retorno económico.

O Roteiro prevê ainda o envolvimento ativo das empresas do setor, com a participação de pelo menos trinta empresas através de workshops, entrevistas e inquéritos, assegurando que as soluções propostas sejam ajustadas à realidade empresarial, escaláveis e alinhadas com outros roteiros setoriais. Esta participação ativa permite consolidar conhecimento coletivo, reforçar a aceitação das medidas e disseminar boas práticas de descarbonização.

Por último, o Roteiro estabelece trajetórias de transição climática integradas, considerando os impactes em outras categorias ambientais, como consumo de recursos, produção de resíduos e eficiência operacional. A coerência com políticas nacionais e europeias, incluindo metas de neutralidade carbónica, economia circular e eficiência energética, é um elemento central, assegurando que as soluções contribuem para a modernização sustentável do setor. A conjugação entre inovação tecnológica, digitalização, eficiência operacional e colaboração intersetorial constitui o vetor estratégico para a transformação sustentável do setor naval português, garantindo resiliência, competitividade e alinhamento com os objetivos climáticos de longo prazo.

2 Contexto Internacional

Rumo à Neutralidade Carbónica

O processo de transição para a Neutralidade Carbónica constitui um imperativo estratégico para o setor da CRMN, exigindo o alinhamento de todos os agentes industriais com metas e linhas de ação a nível internacional, europeu e nacional, de forma a assegurar competitividade, conformidade regulatória e sustentabilidade a longo prazo. No plano internacional, a International Maritime Organization (IMO) define trajetórias progressivas de descarbonização, incluindo a redução de emissões de GEE em pelo menos 20 % (alvo 30 %) até 2030, 70 % (alvo 80 %) até 2040, em relação aos níveis de 2008, e a transição para emissões quase nulas (“zero or net-zero”) até 2050, complementadas pelo IMO Net-Zero Framework (MEPC 83, 2025), que estabelece padrões de combustível, mecanismos de precificação de GHG e trajetórias de intensidade de emissão (GFI – Greenhouse Gas Fuel Intensity), promovendo a adopção de combustíveis de baixo ou nulo carbono e tecnologias inovadoras.

No contexto europeu, o European Climate Law (2021) consolidou a meta de redução de 55 % das emissões de GEE até 2030 relativamente a 1990 e a neutralidade carbónica até 2050, reforçada pelo pacote legislativo “Fit for 55” e pela revisão da Diretiva de Eficiência Energética (UE 2023/1791), impondo requisitos obrigatórios para a indústria e transporte marítimo, como eletrificação, integração de energias renováveis e monitorização de emissões. Em Portugal, o Plano Nacional de Energia e Clima 2030 (PNEC 2030) e a Estratégia Nacional para o Mar 2021–2030¹¹ definem metas de eficiência energética, circularidade de materiais e redução de emissões para os setores marítimo-portuário e naval, promovendo modernização tecnológica, digitalização industrial e adopção de práticas de economia circular.

Estas orientações estratégicas traduzem-se em linhas de ação concretas para o setor CRMN, nomeadamente: melhoria contínua da eficiência energética e da intensidade de emissão por unidade de atividade; incorporação de combustíveis e fontes de energia de baixo ou nulo carbono (hidrogénio verde, amoníaco renovável, biocombustíveis, electrificação industrial); implementação de práticas de economia circular e optimização dos fluxos de materiais; digitalização e monitorização de consumos energéticos, emissões e impactes ambientais; e mobilização de investimento e inovação tecnológica através de mecanismos de financiamento e parcerias público-privadas.

A nível global, grandes estaleiros e consórcios internacionais têm assumido estratégias ambiciosas de transição, reforçando a necessidade de inovação e adaptação no setor CRMN. O Global Green Shipyard Alliance (GGSA), que inclui o Drydocks World (EAU), Astilleros Shipyard Group (Espanha) e BREDO Dry Docks GmbH (Alemanha), promove a adopção de tecnologias limpas, renovações de alta eficiência energética, digitalização avançada e harmonização de padrões ESG. O estaleiro Gulf Craft (EAU) investe em combustíveis alternativos à base de hidrogénio (LOHC – Liquid Organic Hydrogen Carrier) para embarcações de emissões praticamente nulas. Estas iniciativas abrem oportunidades para transferência de conhecimento tecnológico, parcerias internacionais e implementação de projectos-piloto de descarbonização, evidenciando simultaneamente que a falta de alinhamento com estas tendências poderá comprometer competitividade, acesso a financiamento e conformidade regulatória.

¹¹ Estratégia Nacional para o Mar 2021-2030. Disponível em: <https://www.dgpm.mm.gov.pt/enm-21-30>

Tendências Internacionais

Action Plan for Green Development of the Shipbuilding Industry (2024–2030)



Em 2023, foi publicado pelo Governo Central Chinês, juntamente com as respectivas agências competentes, um documento orientador¹² que constitui uma referência internacional relevante no contexto das estratégias de descarbonização do setor da construção, reparação e manutenção naval.

A estratégia chinesa assume a descarbonização do setor naval como um vetor estruturante de modernização industrial, enquadrando-se nos objetivos nacionais de neutralidade carbónica. Neste sentido, a transição verde é tratada simultaneamente como um imperativo ambiental e como um instrumento para o reforço da competitividade da indústria naval chinesa nos mercados internacionais

O documento estabelece um horizonte temporal claro, com metas quantificadas para 2025 e objetivos estruturais para 2030. Entre os principais objetivos destacam-se a redução da intensidade energética do setor, e o aumento da quota internacional de navios movidos a combustíveis alternativos.

Por um lado, a estratégia assenta fortemente na construção de navios verdes, promovendo a substituição dos combustíveis fósseis usados no *shipping*, por combustíveis com baixo teor carbónico, nomeadamente o GNL, metanol, amónia, hidrogénio e eletricidade. Por outro lado, relativamente aos estaleiros e processos de fabrico dos navios, o plano foca-se na transformação integrada baseada na digitalização, na eletrificação de equipamentos, na melhoria da eficiência energética e na integração de energias renováveis. O plano destaca também a criação de *shipyards*, com sistemas avançados de gestão energética e de monitorização da pegada de carbono, a criação deste tipo de estaleiro é assumida como um elemento central da estratégia de descarbonização, evidenciando que a redução das emissões de GEE abrange muito mais do que apenas a substituição de vetores energéticos, importa também considerar a otimização de processos industriais e organizacionais.

O plano chinês considera também de relevante importância a reparação naval e o fim de vida dos navios, promovendo a criação de centros de reparação naval verdes, específicos para a modernização energética de navios em operação e para a adoção de tecnologias de menor impacto ambiental. Relativamente ao desmantelamento, a estratégia reforça a necessidade de práticas ambientalmente seguras e em linha com as convenções internacionais, integrando princípios de economia circular e valorização de resíduos.

Esta estratégia diferencia-se devido à integração do conceito de ciclo de vida na construção e reparação naval, isto é, a integração da análise da cadeia de valor como ponto central. Desenvolvendo-se um sistema setorial de gestão da pegada de carbono, através da criação de regras de cálculo, bases de dados e mecanismos de rotulagem de carbono. A performance ambiental passa a ser um critério relevante para a aquisição de materiais e a contratação de serviços.

De forma a tornar esta estratégia exequível, o governo chinês garante instrumentos económicos, como financiamento verde, incentivos fiscais, apoio à inovação tecnológica e

¹² Republic of China. (2025). *Action Plan for Green Development of Shipbuilding Industry (2024-2030)*. Obtido de <https://www.iea.org/policies/27863-action-plan-for-green-development-of-shipbuilding-industry-2024-2030>

coordenação entre a administração central e os clusters industriais. Esta abordagem reforça a capacidade de implementação efetiva das medidas propostas.

K-Shipbuilding Super Gap Vision 2040



O governo da Coreia do Sul, publicou em 2023, o documento *K-Shipbuilding Super Gap Vision 2040*¹³, que estabelece a estratégia nacional de médio e longo prazo com o objetivo de tornar a indústria naval coreana numa referência internacional no contexto da descarbonização, digitalização e automação indústria.

O documento organiza-se em torno de três pilares estratégicos fundamentais: *Eco-friendly*, *Smart* e Digitalização, e identifica 100 tecnologias-chave que a Coreia pretende desenvolver e integrar até 2040. Estas tecnologias passam pela integração de combustíveis alternativos, sistemas de propulsão avançados, automação de estaleiros, inteligência artificial, robótica e navegação autónoma.

Eco-friendly:

Redução das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida dos navios, através do desenvolvimento e adoção de tecnologias de baixo e zero carbono. A construção de navios movidos a combustíveis de baixo carbono, como a amónia, hidrogénio, eletricidade ou soluções híbridas, bem como a integração de sistema de captura de carbono a bordo, constituem medidas essenciais para a Coreia consolidar um portefólio completo de navios de baixo e zero carbono.

Smart:

Desenvolvimento de navios inteligentes e autónomos, com sistemas avançados de operação e segurança, bem como a comercialização de navios totalmente autónomos, através do desenvolvimento de sistemas avançados de sensores de navegação.

Digitalização:

A transformação digital dos estaleiros centra-se aposta na automação e digitalização dos estaleiros através da introdução de soluções de robótica e inteligência artificial. Com a implementação destas tecnologias de otimização e automação de processos, estima-se o aumento de eficiência energética e redução de emissões de GEE.

Esta estratégia é operacionalizada através de dez projetos-âncora (*flagship projects*), que funcionam como exemplos de projetos de inovação no setor naval, entre eles encontram-se projetos relacionados com toda a cadeia de valor do setor. Os projetos de inovação serão apoiados por um investimento público-privado significativo, permitindo assim a passagem da investigação à operacionalização e comercialização.

¹³ Federation of Middle Market Enterprises of Korea. (2024). *Visão K-Shipbuilding Super Gap 2040*. Obtido de https://www.fomek.or.kr/main/policy/law/policy_view.php?wr_id=1050&utm_source=

UK National Shipbuilding Strategy



A Estratégia Nacional da Construção Naval do Reino Unido¹⁴, foi publicada em 2022 e define o enquadramento estratégico para a revitalização e modernização da indústria naval britânica. O objetivo deste documento é reforçar a capacidade industrial nacional, aumentar a competitividade internacional e assegurar a resiliência das cadeias de abastecimento.

Neste documento, destaca-se a necessidade de modernizar os estaleiros, através da digitalização, industrialização dos processos, e a adoção de boas práticas de gestão industrial, com vista à redução de custos, prazos e riscos de execução.

Em termos ambientais, a este documento reconhece a importância crescente da descarbonização do setor naval, incentivando a incorporação de técnicas de eficiência energética, a redução de emissões ao longo do ciclo de vida dos navios e o desenvolvimento de soluções tecnológicas alinhados com os objetivos climáticos nacionais. No entanto, o foco desta estratégia centra-se na revitalização do setor da construção naval, mais concretamente no domínio da defesa e segurança marítima, e não tanto na descarbonização do setor, deste modo, a descarbonização do setor é apresentada como um eixo transversal de aumento da competitividade, não sendo o objetivo principal desta estratégia.

A estratégia apresentada valoriza a integração da cadeia de valor, promovendo a articulação entre estaleiros, fornecedores, centros de investigação e desenvolvimento e universidades.

Green Ship of the Future



Na Dinamarca, o relatório *Green Ship for the Future*¹⁵ foi desenvolvido em parceria pelo setor público e privado do país. Com o objetivo de avaliar e identificar soluções técnicas concretas para a redução de emissões em navios de passageiros.

As técnicas identificadas como mais relevantes para a diminuição de emissões de GEE focam-se em questões operacionais, como a otimização da forma do casco, a redução de peso, através da alteração estrutural e incorporação de materiais mais leves, também a incorporação de combustíveis alternativos é considerada, com destaque para o GNL e o metanol. Por fim, o relatório técnico inclui também medidas de eficiência energética dos sistemas auxiliares, como a ventilação e iluminação. Através da integração conjunta das soluções identificadas, o relatório evidencia ser possível uma redução de aproximadamente 25% das emissões de GEE apenas através da utilização de GNL como combustível.

Este documento demonstra que é possível reduzir significativamente as emissões de GEE através de soluções tecnicamente viáveis a curto prazo, apostando na integração conjunta de soluções ao invés de apenas uma solução dominante. Em suma, o documento constitui uma referência relevante para estratégias de descarbonização baseadas na eficiência energética, otimização material e tecnológica.

¹⁴ National Shipbuilding Office. (2022). *National Shipbuilding Strategy: A refreshed strategy for a globally successful, innovative and sustainable shipbuilding enterprise*. Obtido de <https://www.gov.uk/government/publications/refresh-to-the-national-shipbuilding-strategy>

¹⁵ Simonsen, C. D. (2015). *Green Ship of the Future*. Obtido de <http://greenship.org/>

Comparação de Tendências Internacionais

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as principais tecnologias identificadas no âmbito do *benchmark* internacional apresentado anteriormente, e as medidas integradas na modelação das trajetórias de descarbonização consideradas no RNCZ. A análise da tabela evidencia que a estratégia definida no RNCZ se encontra alinhada com as abordagens adotadas quer a nível europeu, quer a nível asiático.

Tabela 1 - Comparação Tendências Internacionais e RNCZ

	China	Coreia do Sul	Reino Unido	Dinamarca	RNCZ
Substituição de combustíveis fósseis	X	X	-	X	X
Digitalização	X	X	-	X	X
Eletrificação de Equipamentos	X	X	X	X	X
Integração de energias renováveis	X	-	-	-	X
Gestão energética e de monitorização da pegada de carbono	X	-	-	X	X
Criação de centros de reparação naval	X	-	-	-	-
Economia circular e valorização de resíduos de fim de vida	X	-	-	-	-
Análise da cadeia de valor	X	-	X	-	-
Inteligência artificial, robótica	-	X	-	-	-
Captura de carbono a bordo	-	X	-	-	-

Neste contexto, destacam-se como linhas orientadoras da descarbonização do setor CRMN a eletrificação e a melhoria da eficiência energética dos equipamentos, a substituição dos combustíveis fósseis, a digitalização de processos produtivos e a integração de energias renováveis nos processos industriais. Estes eixos correspondem aos principais vetores de atuação transversais às estratégias internacionais analisadas, refletindo uma convergência clara nas soluções consideradas prioritárias para a redução das emissões de GEE no setor.

Não obstante, considera-se igualmente relevante a análise aprofundada de temas complementares, nomeadamente, a economia circular associada aos resíduos gerados nas atividades de construção e reparação, os quais podem constituir uma oportunidade adicional

de redução de emissões de GEE através da otimização do uso de materiais e do encaminhamento adequado dos resíduos para processos de valorização.

Adicionalmente, assume particular importância a análise da cadeia de valor dos materiais utilizados, considerando não apenas os processos de produção da matéria-prima, mas também os impactos associados ao transporte das matérias-primas até aos estaleiros, permitindo uma avaliação mais abrangente do perfil de emissões do setor.

3 O Setor CRMN em Portugal

Empresas

O Setor CRMN em Portugal é caracterizado por 489 empresas¹⁶ a operar em todo o país, principalmente localizadas na zona costeira Portuguesa. Em 2023, o setor da Construção Naval registava 167 empresas, tendo-se observado um aumento de 24% do número de empresas desde 2019. Na reparação e manutenção de embarcações, o número de empresas registado em 2023 era significativamente superior ao da construção, com 322 empresas, que também registaram um aumento na ordem de 41% desde 2019. A Figura 2 apresenta a evolução do número de empresas dos subsectores de construção e reparação naval, entre 2019 e 2023.

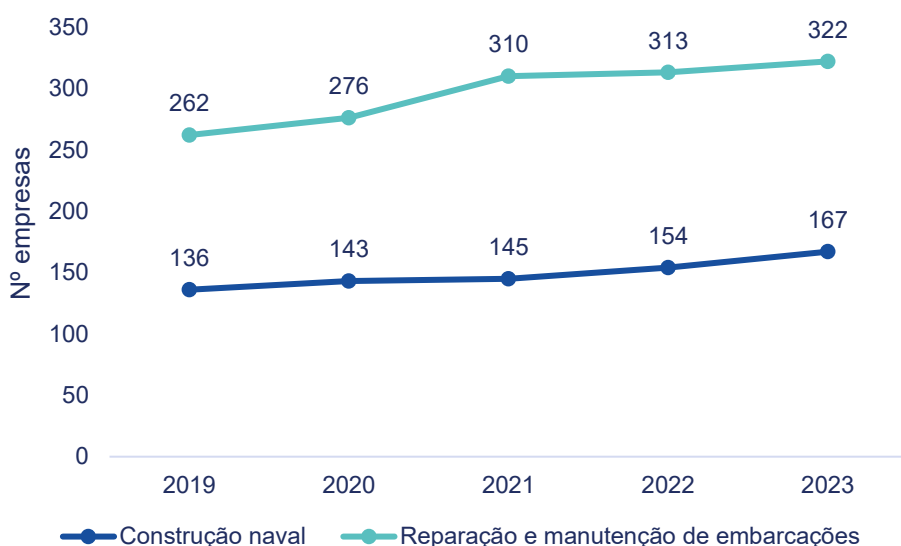


Figura 2 - Nº de empresas dos setores de Construção e Reparação & Manutenção Naval entre 2019 e 2023¹⁶

Dentro das empresas de construção naval, as empresas de construção de embarcações comerciais e as de embarcações de recreio e desporto dividem de forma equivalente o subsector, registando um número de empresas e um volume de negócios muito semelhante entre si.

O setor CRMN, na sua totalidade, é responsável por 4328 trabalhadores, com a construção naval a registar a maioria do pessoal ao serviço – 2 564 trabalhadores em 2022 – e a reparação e manutenção naval com cerca de 1 760 trabalhadores. O subsector de construção naval regista um número médio superior de trabalhadores por empresa (cerca de 17 trab./empresa) quando comparado com um número mais reduzido na reparação e manutenção (6 trab./empresa).

Devido à natureza da sua atividade, os estaleiros navais encontram-se concentrados em regiões específicas no litoral do país, com 35% dos estaleiros concentrados no Norte de Portugal, 14% no Centro, 14% na Grande Lisboa e 19% em Setúbal. As empresas de reparação e manutenção encontram-se também no litoral do território, mas ao contrário da construção, estão muito mais concentradas na área metropolitana de Lisboa (40%) e no Algarve (22%). Cerca de 12% das empresas encontram-se nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

¹⁶ INE. (2025). Base de Dados, Empresas (Nº). Disponível em: [Portal do INE](#).

O Volume de Negócios (VN) da construção naval era, em 2022, de 247 M €, e o da reparação e manutenção naval de 245 M €¹⁷. A Figura 3 apresenta os valores de Valor Acrescentado Bruto (VAB), entre 2019 e 2022, para a construção e reparação naval¹⁸. Em 2022, a construção naval registou um VAB de 85 M € enquanto a reparação e manutenção naval registou um VAB de 61 M €. É de notar que ambos os setores têm vindo a registar um crescimento no VAB desde 2019, de 55% no subsetor da construção e 32% no subsetor da reparação e manutenção naval.

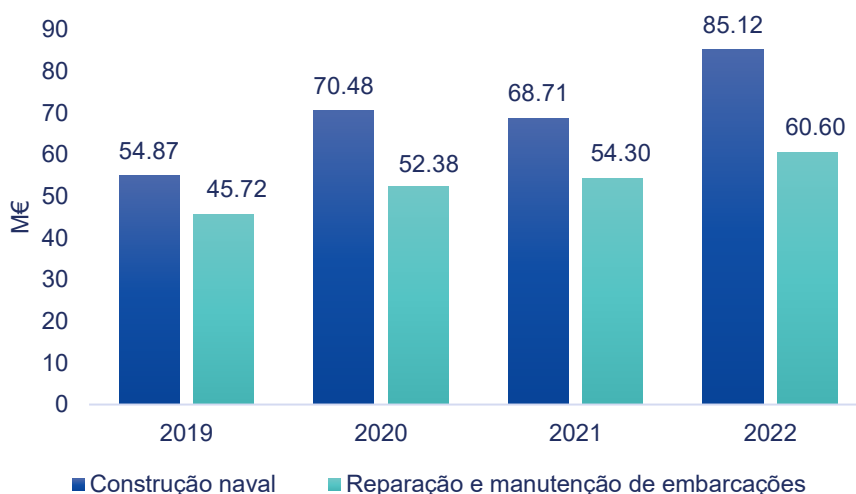


Figura 3 - VAB em M € dos subsetores de Construção e Reparação Naval entre 2019 e 2022

De acordo com os dados do INE¹⁷, a construção de embarcações metálicas para fins comerciais é mais expressiva do que a construção que recorre a outros materiais (como a fibra de vidro), representando 89% do volume de negócios total.

A maioria das empresas são pequenas e médias empresas, com algumas microempresas de atividade muito reduzida que operam na reparação naval para clientes locais.

A maioria dos estaleiros navais em Portugal são detidos por privados. Apenas o Arsenal do Alfeite, e a NAVALROCHA¹⁹ são detidas pelo Estado Português. Em termos de dimensão, os Estaleiros Navais de Viana do Castelo, constituem o maior estaleiro naval de construção em Portugal, seguidos pelos Estaleiros Navais do Mondego e a Lisnave, o estaleiro com maiores instalações em Portugal e um dos maiores a nível europeu, apesar de exclusivamente dedicado à reparação naval.

É importante notar que as parcerias e comunicação do setor com as indústrias do transporte marítimo, equipamento marítimo e do aço são dispersas e pouco coesas, enfraquecendo a qualidade da cadeia de valor. A indústria de equipamento para embarcações a nível nacional é praticamente inexistente, obrigando o setor a importações que diminuem, de forma relevante, a sua competitividade.

¹⁷ INE. (2025). Base de Dados, Volume de Negócios (€). Disponível em: [Portal do INE](#)

¹⁸ INE. (2025). Base de Dados, Valor Acrescentado Bruto (€). Disponível em: [Portal do INE](#)

¹⁹ A NAVALROCHA não é detida na totalidade, a EMPORDEF (empresa portuguesa de defesa) detém apenas 45% dos seus estaleiros.

Processo produtivo

A Construção e a Reparação Naval são setores de atividade relativamente distintos em Portugal, sendo que apenas alguns estaleiros realizam as duas atividades no mesmo local. Também a sua trajetória em termos de dimensão e operação divergiu nos últimos anos, com o setor da reparação a ultrapassar o setor da construção em número de empresas.

As indústrias de construção e reparação naval, embora focadas em embarcações semelhantes, enfrentam desafios e processos diferentes. Em geral, a construção naval é considerada como uma indústria mais tradicional que transforma matérias-primas em “bens”, enquanto a reparação é encarada como uma indústria de serviços. Enquanto os estaleiros de construção naval se dedicam à produção completa de embarcações para diversos setores, os estaleiros de reparação e manutenção naval especializam-se em oferecer serviços e produtos relacionados com a construção, conversão e manutenção de embarcações. Estes serviços, apesar de poderem ser realizados tanto no mar como em terra, são maioritariamente realizados em estaleiros e docas secas. De uma forma geral, as ferramentas, técnicas e tecnologias utilizadas são muito semelhantes nos dois setores.

Construção Naval

De acordo com os dados disponibilizados pelo INE, em 2020 foram produzidos em Portugal 77 barcos e iates e mais de 6000 outras embarcações de recreio. Relativamente à produção de embarcações para fins comerciais, os números disponibilizados pelo INE reportavam 45 Arqueação Bruta Compensada (ABC)²⁰ para barcos de pesca e 29 para outras embarcações de transporte. Não foram reportados valores de produção para embarcações de transporte de carga, rebocadores ou para conversão e reconstrução de embarcações.

São vários os processos industriais que ocorrem nos estaleiros navais e de natureza técnica diversa, desde a metalurgia que é a mais aplicada, a instalações elétricas, operações de elevação e movimentação, montagem de andaimes, jato abrasivo de areia, limpeza, pintura e atividades de acabamento. O processo de construção de um navio moderno é um projeto extenso e complexo, que envolve uma ação integrada entre a engenharia, a tecnologia e a mão de obra especializada, e que se pode estender durante anos. De seguida, descrevem-se as principais fases de construção de uma embarcação.

A Figura 4 representa o ciclo de vida de um navio, delimitando as fronteiras do sistema, isto é, as etapas que foram consideradas no âmbito do RNCZ, e identificando as principais fases e processos considerados na análise.

²⁰ Arqueação Bruta Compensada é uma medida estabelecida pela OCDE de produtividade em estaleiros navais, que estima o esforço de construção de um navio.

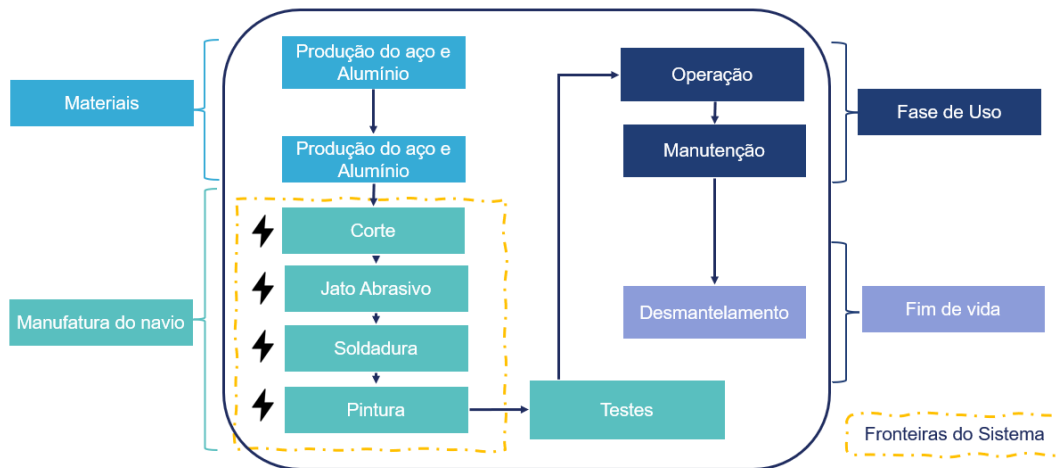


Figura 4 - Ciclo de vida da construção de um navio

O sistema inicia-se na fase de Materiais, que inclui a produção dos materiais mais representativos e fundamentais na construção ou reparação naval, neste caso, o aço e o alumínio. Seguidamente, na fase de Manufatura do navio, são representados os principais processos industriais. Estes processos encontram-se destacados por constituírem atividades energeticamente intensivas e com contributos relevantes para o consumo de energia e, consequentemente, nas emissões de GEE.

Após a fase de manufatura, os sistemas integram a etapa de testes, antecedendo a entrada na fase de uso, onde se incluem as atividades de operação e manutenção do navio ao longo da sua vida útil, fases estas que também não foram consideradas no âmbito deste roteiro.

Um projeto de construção de uma embarcação envolve várias etapas que são descritas de seguida.

PROJETO DE ENGENHARIA

Na fase de design conceptual, arquitetos e engenheiros navais trabalham com o cliente para definir a finalidade, as especificações e os desenhos preliminares da embarcação. Fazem-se estudos de viabilidade, análise de rotas e o planeamento inicial da estrutura. De seguida é feito o projeto detalhado em que são criados os planos estruturais. As ferramentas digitais (e.g. gémeos digitais) são amplamente utilizadas nesta fase para modelar o desempenho e operação do navio.

AQUISIÇÃO E PREPARAÇÃO DE MATERIAIS

A cadeia de valor da construção naval é complexa, global e muito variada. Envolve a aquisição de milhares de componentes desde enormes placas de aço e ligas especializadas, até motores, sistemas de navegação e uma miríade de componentes elétricos. Depois de todos adquiridos e transportados até ao estaleiro, o material é descarregado, verificado e, em seguida, armazenado num armazém. Quando os materiais e componentes são necessários na construção, são transportados dentro do estaleiro, normalmente com recurso a pontes rolantes sobre carris, guindastes sobre rodas, empilhadores e carrinhos de mão. A fase de transporte dos materiais recorre ao gasóleo e representa uma parte significativa do consumo energético dentro do estaleiro.

CORTE, MODELAÇÃO E MONTAGEM (SOLDADURA)

Esta é a fase em que a construção física acontece. Grandes placas de aço ou alumínio são cortadas com recurso a equipamentos de alta precisão como cortadores a laser. Uma vez que não é possível construir todo o casco do navio numa única peça, ele é dividido em

secções tridimensionais (também chamadas blocos) que são depois soldadas para formar o casco. Depois de fabricados, os blocos são transportados para a doca seca onde, com recurso a guindastes de pórtico, são elevados e alinhados de forma a serem soldados no local. Nesta fase verifica-se um consumo muito significativo de energia devido à utilização intensiva dos equipamentos de corte, soldadura e montagem, que consomem eletricidade e gásóleo, no caso das gruas móveis.

INTEGRAÇÃO DE PEÇAS E DE SISTEMAS

Com o casco montado, começa o processo de equipar o navio com os seus sistemas internos e equipamentos. Esta é uma das fases mais extensas e inclui a montagem de motores, caldeiras, sistemas elétricos e canalização, e o equipamento interior para a tripulação ou para os passageiros.

PINTURA, PROVAS E COMISSIONAMENTO

Antes do lançamento, o casco do navio é preparado e pintado. Antes de ser pintado, a parte exterior do navio é limpa e preparada utilizando jatos de areia direcionados às superfícies metálicas (jato abrasivo). São então aplicados revestimentos específicos como primários ricos em zinco para proteger o casco do navio da corrosão e outros acabamentos. A pintura pode ser feita com spray e, por vezes, aplicação com pincel ou rolo para áreas específicas, e ocorre no exterior. É nesta fase que são instalados os sistemas de segurança essenciais dos navios (e.g. combate a incêndios) e que são executados os testes para o seu lançamento.

A construção naval de embarcações metálicas pode ser feita em dois metais: o alumínio e o aço. Embora o aço represente uma parte significativa das embarcações metálicas, o alumínio tem vindo a expandir-se devido a duas grandes vantagens: por um lado o seu reduzido peso face ao aço permite maiores velocidades de operação, e por outro, apresenta uma elevada resistência à corrosão que resulta em menores custos operacionais de manutenção do casco. Em todo o caso, o processo de fabricação é muito semelhante e o alumínio tende a ser usado em navios de menor volume que os fabricados em aço. Mais recentemente, os materiais compósitos têm vindo a ganhar terreno, como a fibra de vidro ou as resinas epóxi.

Os ativos marítimos mundiais são incrivelmente diversificados, com cada classe de embarcação meticulosamente projetada para uma finalidade específica. Entre os principais situam-se:

- **Navios de Carga:** transportam mercadorias a nível global. Entre eles encontram-se os navios porta-contentores, os graneleiros, os navios-tanque, navios de GNL e GLP, navios Ro-Ro (*Roll on-Roll off*), navios frigoríficos ou navios de carga geral.
- **Navios de Passageiros:** embarcações desenhadas para transporte de passageiros como cruzeiros, ferries e catamarãs.
- **Navios de Marinha e Defesa:** embarcações para defesa nacional como porta-aviões, submarinos ou fragatas.
- **Embarcações offshore e para fins especiais:** apoiam indústrias e operações muito especializadas como por exemplo as plataformas petrolíferas, navios de abastecimento, navios de pesquisa, navios cabeleiros ou rebocadores e navios de salvamento.

Reparação e Manutenção Naval

As atividades de reparação, manutenção e transformação naval podem ocorrer em ações de manutenção programada que as embarcações estão obrigadas a cumprir periodicamente ou através de assistência técnica ao cais, no caso de avarias e necessidades de reparação pontuais.

As atividades tipicamente realizadas em estaleiros de reparação incluem:

- Operações de limpeza e tratamento de superfícies
- Operações de transferência de óleo
- Manutenção de máquinas e outros equipamentos

Um projeto de reparação pode incluir as seguintes etapas:

AVALIAÇÃO E PLANEAMENTO

Após a receção da embarcação no estaleiro, é necessário proceder a uma avaliação minuciosa para identificar quaisquer problemas. A embarcação é inspecionada e um plano detalhado da reparação é criado. É uma etapa crítica que determina o âmbito do trabalho e garante que o navio seja reparado de forma eficiente e eficaz.

REPARAÇÕES ESTRUTURAIS

As reparações estruturais podem variar desde a reparação de danos menores até à realização de revisões significativas da estrutura do navio. Isso pode envolver a soldagem de novas placas de aço ao casco ou a reparação de secções danificadas da estrutura do navio. Precisão e resistência são fundamentais para garantir a integridade do navio.

REPARAÇÕES MECÂNICAS

As reparações mecânicas concentram-se nas máquinas e equipamentos do navio, incluindo motores, bombas e sistemas elétricos. Estas reparações são essenciais para o bom funcionamento do navio e requerem técnicos qualificados para diagnosticar problemas e implementar soluções.

Fontes de emissões de GEE

Os estaleiros navais consomem uma quantidade significativa de energia através da eletricidade, gásóleo e outros combustíveis fósseis em processos como corte, soldadura e pintura, bem como para materiais e transporte. O consumo de energia final nas operações de construção e reparação naval é composto por um consumo significativo de eletricidade e de combustíveis fósseis.

A Classificação Portuguesa das Atividades Económicas, Revisão 3 (CAE-Rev. 3), categoriza o setor da CRMN dentro da divisão C30 e C33 – ‘Indústrias Transformadoras: Fabricação de outro equipamento de transporte e Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamento’. Estes são divididos em grupos, classes e subclasses. Os grupos analisados são o ‘301 – Construção naval’ e o ‘331 – Reparação e manutenção de produtos metálicos, máquinas e equipamentos’. As subclasses analisadas no âmbito do projeto são as seguintes:

- 30111 – Construção de embarcações metálicas e estruturas flutuantes, exceto de recreio e desporto;
- 30112 – Construção de embarcações não metálicas, exceto de recreio e desporto;
- 30120 - Construção de embarcações de recreio e desporto;
- 33150 – Reparação e manutenção de embarcações.

O Gabinete de Estudos e Estratégia, disponibiliza através das fichas “Síntese Estatística Setorial”, dados estatísticos para diversos setores de atividade. De acordo com esta publicação, e considerando que 2022 é o ano mais recente com informação disponível, o

consumo energético dos setores CAE 30 e CAE 33 foi de 454,5 TJ e 913,5 TJ, respetivamente^{21,22}.

Os dados disponíveis e apresentados na Figura 5 permitem aferir que a energia elétrica é a forma de energia mais usada pelo setor, 66% no CAE 30 e 51% no CAE 33. No CAE 30 o segundo vetor energético mais utilizado é o gás natural (18%) e os outros produtos petrolíferos como o GPL, Gasolina e Gasóleo representam 17%. No CAE 33, o segundo vetor energético mais utilizado são os produtos de petróleo (48%), enquanto o gás natural representa apenas 1% do consumo energético do setor.

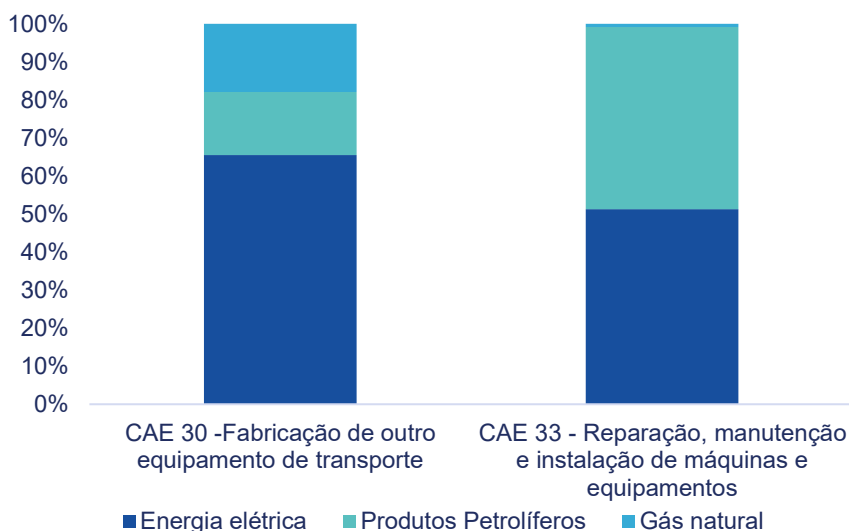


Figura 5 - Consumo energético do CAE 30 e CAE 33, em 2022

Como não foi possível obter dados relativos ao consumo energético referentes às subclasses identificadas no âmbito do projeto, recorreu-se ao volume de negócios²³ como indicador de referência. Assim, com base na distribuição do volume de negócios dentro de cada grupo e subclasse (CAE 301 e CAE 330, subclasse 30111, subclasse 30112, subclasse 30120 e subclasse 33150) e nos dados energéticos disponíveis para o CAE 301 e CAE330, estimou-se o consumo energético das subclasses utilizando o peso relativo de cada subclasse no volume de negócios do respetivo CAE, que se apresenta na Figura 6.

²¹ Gabinete de Estratégia e Estudos. (2024). Síntese Estatística Setorial, CAE 30 - Fabricação de outros equipamentos de transporte.

²² Gabinete de Estratégia e Estudos. (2024). Síntese Estatística Setorial, CAE 33- Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos

²³ INE. (2025). Base de Dados, Volume de Negócios (€). Disponível em: [Portal do INE](#)

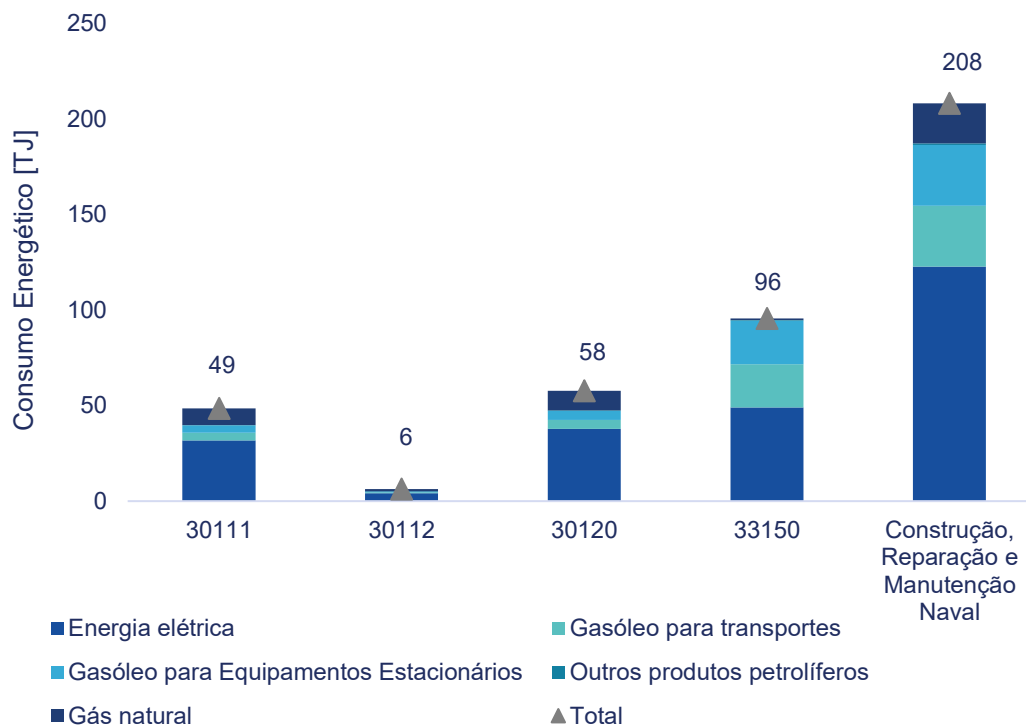


Figura 6 - Consumo energético das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150

Apesar de a caracterização energética ser elaborada ao nível das diversas subclasses no âmbito do projeto, a modelação das trajetórias de referência e descarbonização, são modeladas para duas categorias, Construção Naval e Reparação e Manutenção Naval. Na categoria da Construção Naval, incluem-se as subclasses 30111, 30112, 30120, enquanto a categoria da Reparação Naval refere-se à subclasse 33150.

A Figura 7 ilustra o perfil energético de cada uma das categorias consideradas neste Roteiro, verificando-se que em ambas as categorias o vetor energético predominante é a energia elétrica.

No caso da Construção Naval, observa-se uma utilização equilibrada dos vetores gás natural e produtos petrolíferos, o que se justifica pelas características das atividades desenvolvidas, que recorrem intensivamente a equipamentos de elevação (e.g. gruas), caldeiras e maquinaria móvel, que são alimentados tanto por gás natural como por combustíveis fósseis.

Por outro lado, na categoria da Reparação e Manutenção Naval, o gás natural assume um papel residual, enquanto a energia elétrica e os produtos petrolíferos apresentam contributos semelhantes. Este perfil reflete a natureza das operações de reparação, mais dependentes de equipamentos móveis e operações auxiliares, com menor integração de processos fixos alimentados a gás natural.

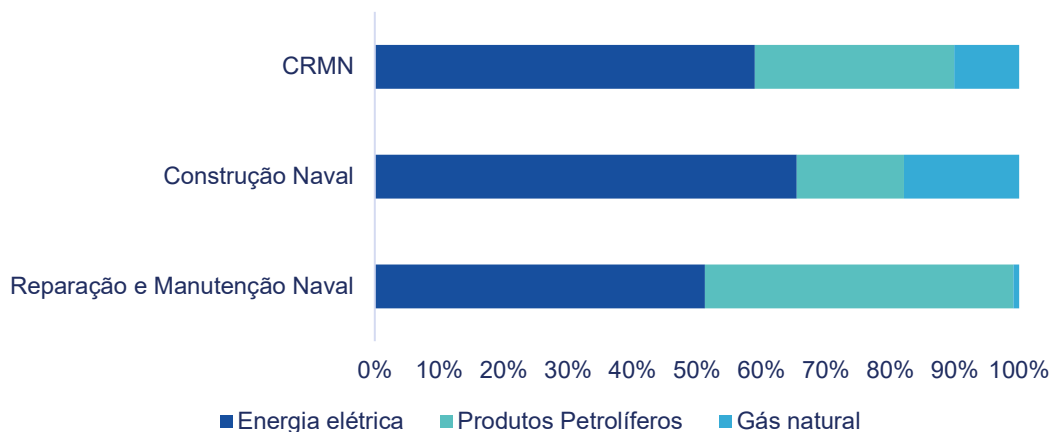


Figura 7 - Perfil energético das categorias Construção Naval e Reparação Naval e total do setor

Com base no consumo energético estimado para cada subclasse, é possível caracterizar o respetivo perfil carbónico, permitindo identificar e quantificar o contributo de cada vetor energético para o total de emissões de GEE da respetiva subclasse.

ÂMBITO 1 E 2

Utilizando os mais recentes dados de fatores de emissões de GEE disponibilizados pela APA – Agência Portuguesa do Ambiente, no *National Inventory Document* (NID) de 2025, estima-se um valor global de emissões do setor na ordem de 10 202 tCO₂e em 2022, representadas na Figura 8. Desse valor, 47% corresponde ao consumo de produtos petrolíferos, 36% ao consumo de energia elétrica e 17% ao consumo de gás natural.

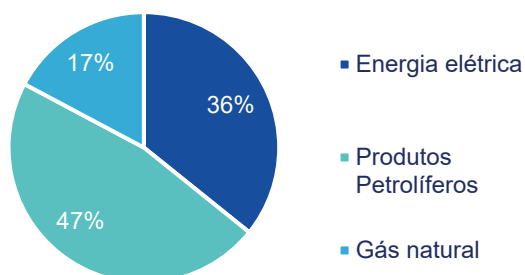


Figura 8 - Emissões de GEE das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150

Relativamente às subclasses das atividades de Construção Naval (30111, 30112 e 30120) e Reparação Naval (33150), verifica-se que, tal como indicado anteriormente pelos consumos energéticos, o perfil de emissões de GEE difere entre atividades.

No caso da construção, as três subclasses apresentam um padrão semelhante, onde 42% das emissões são relativas ao consumo de energia elétrica, seguindo-se as emissões do gás natural (32%) e por os produtos petrolíferos. Por outro lado, a subclasse 33150 apresenta um perfil distinto, os produtos de petrolíferos são responsáveis por 69% das emissões, a energia elétrica contribui com cerca de 30% e o gás natural assume um peso residual (1%). O perfil energético de cada subclasse encontra-se representado na Figura 9.

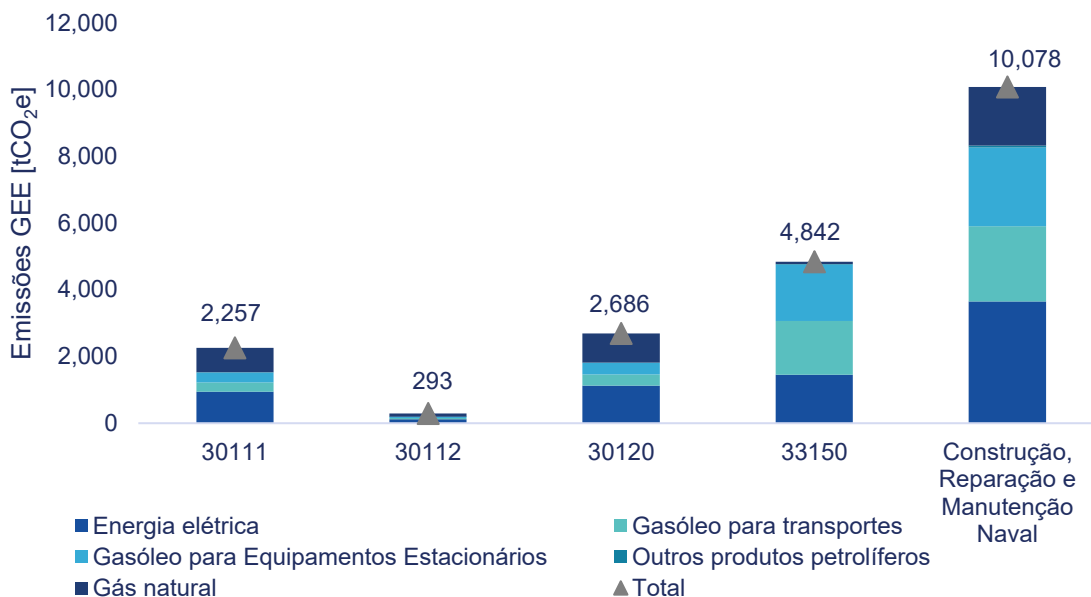


Figura 9 - Perfil de emissões das subclasses 30111, 30112, 30120 e 33150

De forma análoga à análise do perfil de consumo energético, importa também analisar o perfil de emissões de GEE e proceder ao agrupamento das subclasses segundo as categorias de Construção Naval e Reparação e Manutenção Naval.

A análise da Figura 10 permite concluir que os vetores energéticos com maior impacto nas emissões diferem entre as duas categorias. No caso da Construção Naval, a energia elétrica constitui a principal fonte de emissões de GEE, seguindo-se o gás natural e, por último os produtos petrolíferos. Por outro lado, na categoria da Reparação e Manutenção Naval, os produtos petrolíferos assumem o maior impacto ao nível das emissões. Embora representem cerca de 48% do consumo energético, o seu elevado teor carbónico faz com que resultem em aproximadamente 69% das emissões de GEE evidenciando a sua relevância no perfil carbónico desta atividade.

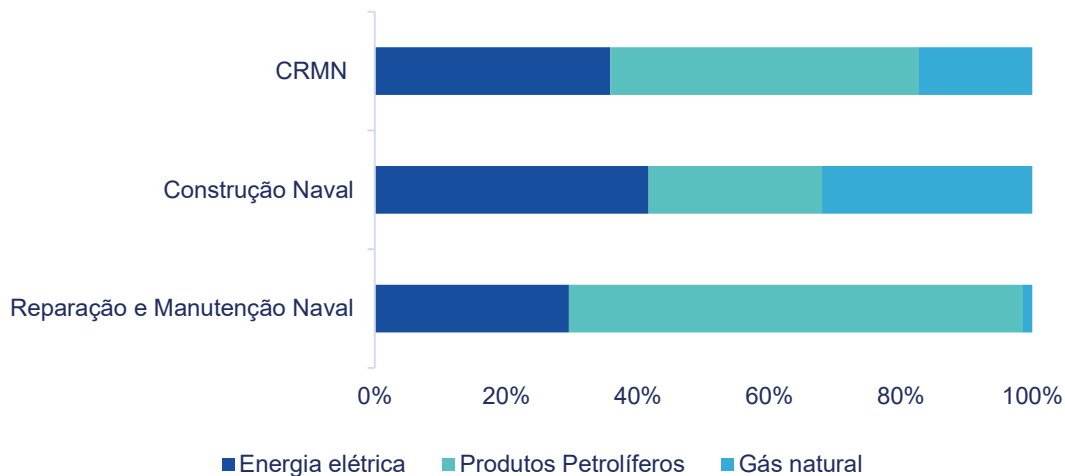


Figura 10 - Perfil de emissões das categorias Construção Naval e Reparação Naval

ÂMBITO 3

Os dados obtidos junto do Gabinete de Estudos e Estratégia, apenas permitem efetuar o cálculo relativo às emissões de GEE dos Âmbito 1 e 2. Tendo isto em consideração, a abordagem metodológica do RNCZ considera apenas estes dois âmbitos na modelação das trajetórias de descarbonização. Contudo, para suprir a ausência de dados nacionais específicos para o Âmbito 3, foi necessário recorrer a diversos estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), disponíveis na literatura e aos processos modelados na base de dados Ecoinvent, de modo a caracterizar os impactos da cadeia de valor da construção e reparação naval^{24 25}.

De acordo com o processo *Barge {RER} | barge production | Cut-off, U*, obtido na base de dados Ecoinvent e analisado através do software SimaPro (versão 9.4.0.2.), conclui-se que o aço é o material mais representativo na fase de construção de um navio, constituindo aproximadamente 88% dos materiais utilizados na construção de uma embarcação. Partindo desse inventário, procedeu-se à normalização dos principais vetores energéticos presentes no processo, que são energia elétrica e gásóleo e à sua relação com o volume total de aço utilizado. Esta abordagem, permite construir um perfil simplificado de emissões, capaz de quantificar, de forma relativa, o contributo dos diferentes âmbitos, representados através da Figura 11.

²⁴ Kwon, B-J, Oh, S-J, Jeong, B., Park, Y. & Shin, S. (2025). Life Cycle Assessment of Shipbuilding Materials and Potential Exposure Under the EU CBAM: Scenario-Based Assessment and Strategic Responses.

²⁵ Ecoinvent. (2025). Barge {RER} | Barge Production | Cut-off (U)

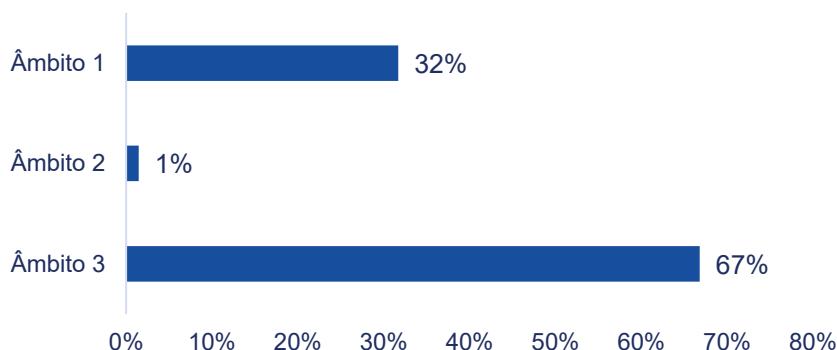


Figura 11 - Perfil relativo de emissões de acordo com o processo Barge {RER} barge production | Cut-off, U, normalizado para 1t de aço

Os resultados obtidos evidenciam que o Âmbito 1 representa aproximadamente 32% das emissões de GEE, associados aos impactos diretos das atividades que ocorrem nos estaleiros de construção e reparação naval, neste exercício as emissões resultam diretamente do consumo de diesel.

O Âmbito 2 corresponde a cerca de 1%, o que reflete o consumo de energia elétrica e por isso os impactos indiretos das atividades de construção e reparação naval. E por fim, o Âmbito 3 representa 67% das emissões totais, o que evidencia de forma clara o contributo massivo dos materiais incorporados, sobretudo o aço.

O resultado deste exercício permite ilustrar o que é amplamente descrito na literatura internacional, ou seja, que a grande maioria de emissões ocorre a montante da atividade dos estaleiros. A inclusão de todas as etapas da cadeia de valor permitiria capturar de forma mais abrangente o conjunto de emissões de Âmbito 3 associadas à cadeia de valor deste setor.

Auditorias Energéticas

No âmbito do projeto foram realizadas auditorias energéticas e visitas técnicas a estaleiros, com vista à recolha de informação quantitativa que permitiu caracterizar o desempenho energético do setor. Esta informação foi posteriormente analisada com recurso a um conjunto de indicadores de referência, amplamente utilizados em análises energéticas, nomeadamente em auditorias energéticas e planos individuais de descarbonização, bem como em análises climáticas, são eles o Consumo Específico de Energia (CEE), a Intensidade Carbónica (IC) e a Intensidade Energética (IE).

O CEE permite avaliar o consumo de energia por instalação, isto é, por estaleiro, refletindo eficiência operacional dos processos, a IC traduz a intensidade das emissões de GEE associadas ao consumo energético, permitindo aferir o impacto climático das atividades desenvolvidas, por fim, a IE relaciona o consumo energético com o valor económico gerado, constituindo um indicador da eficiência energética global.

Em conjunto, estes indicadores permitem caracterizar de forma global o comportamento energético das empresas mais representativas do setor CRMN, fornecendo uma base objetiva para a avaliação do seu desempenho energético e do respetivo potencial de descarbonização.

vista à recolha de dados que permitiram posteriormente fazer um enquadramento com recurso a três indicadores distintos, que são fundamentais no âmbito de uma análise profunda aos indicadores energéticos, como o **Consumo Específico de Energia** (CEE), a **Intensidade Carbónica** (IC) e a **Intensidade Energética** (IE). Estes indicadores permitem tirar elações relativamente ao comportamento energético das empresas mais representativas do setor CRMN.

A Tabela 2 resume os resultados calculados para cada um dos indicadores previamente identificados.

Tabela 2 – Análise dos indicadores energéticos

Indicador	Unidade	Mínimo	Valor médio	Máximo
Consumo Específico de Energia	kgép/Hh	0,01	2,53	19,49
Intensidade Carbónica	tCO ₂ e/tep	0,60	1,28	2,80
Intensidade Energética	kgép/€VAB	0,01	0,12	0,52

A análise aos indicadores de desempenho energéticos obtidos a partir das auditorias realizadas aos estaleiros do setor CRMN evidencia uma elevada heterogeneidade entre as empresas analisadas, refletindo diferenças significativas ao nível da escala das operações e tecnologias utilizadas.

Os valores de **Consumo Específico de Energia** variam entre 0,01 kgép/Hh e 19,49 kgép/Hh. Esta amplitude revela disparidades relevantes na eficiência operacional indicando que algumas empresas apresentam consumos energéticos bastante reduzidos por estaleiro, enquanto outras evidenciam consumos mais elevados. Os valores mais elevados estão associados aos estaleiros com processos industriais mais intensivos em energia, tipicamente estaleiros de construção naval.

O indicador **Intensidade Carbónica** apresenta um valor médio de 1,28 tCO₂e/tep, evidenciando que os estaleiros analisados mantêm ainda uma dependência significativa de combustíveis fósseis com elevado teor carbónico no seu consumo energético. Esta conclusão encontra-se em consonância com os resultados anteriormente apresentados relativos ao perfil carbónico das diferentes categorias de consumo energético.

Quanto à **Intensidade Energética**, os valores variam entre 0,01 kgép/€VAB e 0,52 kgép/€VAB. Novamente, esta dispersão significativa indica diferenças acentuadas na relação entre consumo energético e o valor económico gerado pelas empresas do setor. Valores mais elevados de IE refletem estaleiros menos eficientes ou atividades com menos VAB, por outro lado, valores reduzidos indicam maior eficiência económica do uso de energia.

4 Tecnologias e Vetores de Descarbonização

Tecnologias e Vetores

Eficiência Energética

A redução dos consumos energéticos dos estaleiros navais é um eixo fundamental de descarbonização e representa a opção mais custo-eficaz. Com medidas simples e de baixo custo, é possível reduzir de forma prática consumos excessivos derivados de fraca eficiência na utilização e funcionamento dos equipamentos. Além disso, tem ainda um impacto direto nos custos da energia, reduzindo as faturas de forma imediata e ajudando a amortecer a volatilidade dos preços.

De seguida apresentam-se algumas das medidas de eficiência energética mais importantes para aplicação em estaleiros navais e que permitem reduzir o consumo de eletricidade e de combustíveis fósseis, utilizados nas instalações.

SISTEMA DE GESTÃO DE ENERGIA

O conjunto de processos e ações que servem para monitorizar e otimizar os consumos energéticos dos processos produtivos, é conhecido por sistema de gestão de energia e pode seguir normas como a ISO 50001. Trata-se de uma abordagem sistémica que tem o objetivo de melhorar o desempenho energético das empresas. A aplicação de metodologias de monitorização e controlo da energia elétrica em cada secção produtiva permite identificar oportunidades de melhoria e contribui para uma manutenção preditiva eficaz. Além disso, permite reduzir custos operacionais e permite um melhor planeamento de futuros investimentos. A automação do equipamento elétrico, através de sistemas de controlo de ponta e deslastre de cargas ou gestão integrada, é eficaz e apresenta custos de investimento e tempos de retorno do investimento relativamente baixos.

De uma forma geral, as economias típicas alcançadas e decorrentes exclusivamente do processo da constante monitorização e controlo dos consumos de energia reais, são de 3% nos consumos elétricos e 5% para as restantes formas de energia.

ILUMINAÇÃO

A substituição total da iluminação por LED de alta eficiência traduz-se em poupanças significativas na energia elétrica, reduzindo custos de manutenção e melhorando a qualidade da luz simultaneamente. Os sensores de movimento ligados aos sistemas de iluminação podem ainda garantir reduções de consumo significativas e são essenciais em locais de utilização prolongada ou permanente.

MOTORES ELÉTRICOS – VARIADORES ELETRÓNICOS DE VELOCIDADE (VEV)

Os variadores eletrónicos de velocidade (VEV) são dispositivos eletrónicos que permitem ajustar a velocidade de um motor às necessidades reais da operação. Através da otimização em tempo real da velocidade do motor e do arranque e paragem, os VEV são capazes de melhorar significativamente a eficiência dos motores, podendo ser aplicados a bombas, compressores, ventiladores, elevadores, tapetes rolantes, entre outros. É possível atingir reduções de consumo de energia médios de 20 a 25%.

SUBSTITUIÇÃO POR EQUIPAMENTOS MAIS EFICIENTES

A substituição de equipamentos antigos e/ou obsoletos por equipamentos de elevado rendimento é essencial para obter um ganho de eficiência. É especialmente significativo no caso da tecnologia de ar comprimido utilizado nas instalações, juntamente com a deteção e reparação de fugas e a utilização de VEV. Na tecnologia de soldadura utilizada também pode ter um impacto direto no consumo energético. As bombas de calor também representam uma boa solução tanto para o aquecimento e arrefecimento do espaço como para o aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS), reduzindo assim a necessidade de utilizar combustíveis fósseis.

Energias Renováveis

Os estaleiros navais apresentam um consumo de energia elétrica significativo. Esta energia é fornecida pela rede elétrica nacional que, apesar de ser produzida através de uma fração cada vez maior de fontes de energia renovável (FER), apresenta uma parte significativa ainda produzida através de combustíveis fósseis. O eixo de descarbonização Energias Renováveis pressupõe a implementação de produção de energia renovável nas instalações dos estaleiros de forma a suprir uma parte dos consumos de energia da rede elétrica nacional. A implementação de produção renovável representa benefícios significativos, ambientais e económicos e contribui para a redução das emissões de GEE. Permite que as empresas tenham total controlo sobre as fontes de produção, reduz custos energéticos e reduz a volatilidade dos preços de energia, trazendo uma vantagem competitiva. Em alternativa, a empresa pode ainda optar por assegurar o fornecimento de energia renovável através de contratos de eletricidade renovável com os comercializadores de energia, via PPA (*Power Purchase Agreement*).

AUTOCONSUMO RENOVÁVEL

O aumento de energia renovável para consumo próprio traz benefícios significativos, tanto ao nível ambiental como económico, contribuindo para a redução das emissões de GEE. É uma forma das empresas gerarem a sua própria eletricidade, reduzindo a dependência de fontes externas, o que permite uma melhor gestão dos custos energéticos devido à volatilidade do mercado da energia.

Dada a natureza das instalações dos estaleiros navais e a sua localização geográfica, as fontes de energia renovável mais adequadas à exploração são a **energia solar e a energia eólica**. A energia solar é considerada uma das mais limpas e abundantes e a sua produção é feita através de painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade, ou solar térmico para produção de águas quentes sanitárias. A energia eólica é produzida através de turbinas eólicas que podem ser instaladas na área do estaleiro ou em offshore. Ambas necessitam de uma análise de viabilidade técnico-económica que considere os fatores específicos das instalações dos estaleiros navais, como os recursos (solar e eólico) disponíveis, a disponibilidade de terrenos e telhados, as cargas elétricas das instalações ou os horários de operação das instalações, entre outros.

COMUNIDADES DE ENERGIA RENOVÁVEL (CER)

As CER consistem numa forma inovadora de partilhar a eletricidade renovável entre vários intervenientes (cidadãos, empresas, instituições) a nível local (e.g. bairro). A CER é responsável pela implementação do projeto de energia renovável e pela partilha da energia gerada para satisfazer as suas necessidades. Permitem independência energética através da descentralização das fontes de produção de energia, redução de custos e uma maior capacidade de investimento. São reguladas pelo Decreto-Lei n.º 162/2019 e que visa facilitar a participação ativa na transição energética de empresas e de cidadãos.

Considerando que os estaleiros navais se encontram tipicamente inseridos nas docas e/ou portos de pesca, juntamente com outras empresas e instituições, esta é uma oportunidade atrativa para a implementação de uma CER.

CONTRATAÇÃO DE ELETRICIDADE RENOVÁVEL VIA PPA - POWER PURCHASE AGREEMENTS

Os PPA são acordos de compra e venda de energia renovável, a longo prazo, entre um produtor de energia renovável e um consumidor. Permitem que as empresas adquiram energia diretamente de fontes de geração de energia renovável, como centrais solares, eólicas ou outras. Desta forma, é garantida a origem da energia, contribuindo para os critérios de sustentabilidade das empresas e a redução de emissões derivadas do consumo energético. Outra das vantagens dos PPA é que o preço de energia é fixado através do contrato, reduzindo as flutuações de preços ao longo do tempo. Existem atualmente vários fornecedores e comercializadores a providenciar este serviço em Portugal. No entanto, os custos destes contratos são naturalmente mais elevados que o consumo de energia da rede elétrica nacional.

Substituição de Combustíveis Fósseis

Uma parte significativa dos equipamentos utilizados nas atividades dos estaleiros navais operam com combustíveis fósseis, resultando em emissões de GEE que formam grande parte da pegada de carbono dos estaleiros. A transição para estaleiros carbono zero envolve necessariamente a eliminação gradual de combustíveis fósseis enquanto vetor energético. A maioria dos combustíveis fósseis utilizados nos estaleiros são consumidos em equipamentos como empilhadoras, gruas móveis ou caldeiras. Existe também uma fração do consumo de gasóleo associado à frota.

Em alguns dos equipamentos, é possível substituir gás natural, GPL, GNL ou gasóleo por alternativas menos poluentes como o biometano²⁶ ou os biocombustíveis. O biometano tem características muito semelhantes às do gás natural e pode, por isso, ser utilizado diretamente nos equipamentos existentes. De referir que recentemente foi aprovado o PAB – Plano de Ação para o Biometano (Resolução do Conselho de Ministros n.º 41/2024 de 15 de março de 2024) no âmbito do qual se antecipam que venham a surgir diversos incentivos à produção e consumo de biometano em Portugal.

A **eletrificação** de equipamentos e processos permite também substituir os combustíveis fósseis, utilizando energia elétrica. Esta alternativa pode encontrar dificuldades a nível tecnológico, como por exemplo nas gruas móveis, além de exigir um investimento inicial mais elevado. Apesar de algumas limitações, a eletrificação da frota e de alguns equipamentos mais pequenos é uma solução para diminuir o consumo de gasóleo e GPL. Com a crescente pressão para reduzir as emissões de GEE na indústria, a tecnologia de equipamentos industriais tem vindo a apostar na eletrificação, estando disponíveis cada vez mais equipamentos elétricos.

Digitalização

A integração de tecnologias digitais como sensores, automação, IoT (Internet das coisas), software ou análise de dados nas várias etapas do processo produtivo, é essencial para conhecer e controlar os consumos de energia. Permite otimizar recursos, reduzir desperdícios, aumentar a eficiência energética da produção e consequentemente reduzir as emissões indiretas de GEE associadas às ineficiências operacionais.

A digitalização nos estaleiros navais pode também recorrer a modelos 3D que facilitam a construção e reparação à escala do navio, com recurso a BIM – *Building Integrated Modelling* ou *Digital Twin*. Com a utilização destes modelos é possível centralizar os dados, realizar medições com uma precisão muito elevada, reduzir as paragens no processo produtivo e melhorar o controlo de toda a cadeia de valor.

Eficiência de materiais

A eficiência de materiais pressupõe a aplicação dos princípios fundamentais da economia circular: eliminar resíduos e poluição, manter os produtos e materiais no seu mais alto valor durante o maior tempo possível e regenerar a natureza. Aplicado aos estaleiros navais, estes princípios sugerem em primeiro lugar uma monitorização e controlo sobre a quantidade de materiais e recursos utilizados no processo produtivo, mas também ao longo da cadeia de valor, para que seja possível otimizar a utilização de matérias-primas, recursos e processos para reduzir desperdícios.

²⁶ O biometano (também conhecido como gás natural renovável) tem uma composição idêntica ao gás natural (~85 a 95% de metano), mas em vez de ter origem fóssil, tem origem renovável, sendo produzido a partir da decomposição de matéria orgânica diversa.

Este vetor de descarbonização afeta todos os âmbitos de emissões, com significativo impacto na extração de matérias-primas e na geração de resíduos (emissões de âmbito 3). É possível reduzir a quantidade de matérias-primas utilizadas na construção e reparação naval através da otimização dos processos produtivos em que se reduz a quantidade de desperdícios, como pela incorporação de matérias-primas recicladas ou reaproveitadas.

Compensação de emissões

Como complementar aos vetores de descarbonização anteriormente descritos, considera-se a compensação de emissões de GEE. De uma forma simplificada, a **compensação de emissões de GEE** envolve que uma entidade que seja emissora destes gases para a atmosfera adote uma ou ambas das seguintes ações:

- a) pagar para que outra entidade polua menos evitando o uso de tecnologias menos poluentes, e/ou
- b) pagar para que seja promovida a remoção de CO₂ da atmosfera (sequestro de carbono). A remoção de CO₂ da atmosfera pode ser feita recorrendo a tecnologias como CCUS ou por via de sumidouros como florestas e matos. As plantas nos diversos ecossistemas naturais absorvem CO₂ da atmosfera durante a fotossíntese tendo um balanço líquido de sumidouro de carbono.

Este intercâmbio pode ocorrer dentro do mesmo país ou em mercados de carbono internacionais.

A **compensação de emissões deve ser encarada como um complemento da mitigação** de emissões e não como a principal forma de reduzir emissões. É uma solução para se poder atingir a neutralidade carbónica lidando com a fração das emissões geradas que não podem ser evitadas (como por exemplo em algumas das deslocações aéreas). Em Portugal, em 2024 foi criado o Mercado Voluntário de Carbono (MVC) nacional que irá facilitar o investimento em projetos de mitigação em território nacional por “indivíduos, instituições públicas, organizações privadas ou empresas que pretendam compensar emissões de GEE de uma determinada atividade, serviço ou evento”²⁷. No portal www.mvcarbono.pt pode ser consultada informação sobre o funcionamento do mercado, sobre os requisitos para participação e sobre as metodologias de carbono, entre outros.

Contudo, as emissões compensadas não podem ser subtraídas às do setor. Devem ser reportadas de forma individualizada, indicando o âmbito da compensação e/ou neutralização e o volume de emissões de GEE que são compensadas.

Medidas de descarbonização

Com base nos vetores de descarbonização anteriormente descritos, foram identificadas medidas de para descarbonizar o setor de Construção, Reparação e Manutenção Naval que são apresentadas de seguida e que constituem a base para a modelação das trajetórias de descarbonização.

AUMENTAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS PROCESSOS INDUSTRIAIS

A eficiência energética é crucial na descarbonização do setor, por se apresentar um conjunto de medidas muito eficazes no curto prazo e simultaneamente com menor investimento. A melhoria de operação nos processos de ar comprimido (onde se verificam muitas fugas), de operação das caldeiras, motores e outros equipamentos pode facilmente obter ganhos de

²⁷ <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc24/comunicacao/comunicado?i=governo-operacionaliza-mercado-voluntario-de-carbono-e-incentiva-o-surgimento-de-projetos->

energia consideráveis. A implementação de tecnologias de digitalização de processos concorre também para aumentar a eficiência energética.

ELETRIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ESTACIONÁRIOS

Substituir os equipamentos estacionários (equipamentos térmicos de processo, equipamentos de produção de energia, sistemas AVAC, etc) que consomem gás natural, GPL ou gasóleo por equipamentos elétricos e/ou substituir os combustíveis fósseis utilizados por alternativas de baixo carbono como é o caso dos biocombustíveis, hidrogénio ou HVO – *Hydrotreated Vegetable Oil*. A substituição deve ser feita de forma gradual ao longo do tempo e de acordo com as tecnologias disponíveis.

SUBSTITUIÇÃO DA FROTA POR VEÍCULOS A BIOCOMBUSTÍVEL OU ELÉTRICOS

Esta medida consiste na substituição progressiva da frota existente por veículos elétricos, no caso dos veículos ligeiros, e por veículos movidos a biocombustíveis, no caso dos veículos de mercadorias, visando a redução das emissões de GEE associadas à atividade de transporte. Esta medida contribui para a diminuição da dependência de combustíveis fósseis e para a melhoria do desempenho ambiental do setor.

PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE NAS INSTALAÇÕES ATRAVÉS DE RENOVÁVEIS

Com recurso a fontes de energia renovável como a solar fotovoltaica ou a eólica, produzir eletricidade nas instalações dos estaleiros navais

DESCARBONIZAÇÃO DA REDE ELÉTRICA NACIONAL

Esta medida assenta no aumento progressivo da incorporação de fontes de energia renovável no *mix* energético nacional, reduzindo assim a intensidade carbónica da eletricidade consumido pelo setor CRMN. Esta medida é externa ao setor, no entanto, contribui para a redução das emissões de GEE associadas ao consumo de energia elétrica, independentemente de intervenções específicas ao nível dos estaleiros, sendo fundamental para potenciar os benefícios das medidas de eletrificação.

COMPENSAÇÃO DE EMISSÕES

Compensar as emissões de GEE remanescentes em 2050, deverá ser assegurada como medida de último recurso, incidindo unicamente sobre as emissões remanescentes que não sejam tecnicamente ou economicamente viáveis de eliminar. Esta compensação poderá ser concretizada através do apoio, financiamento ou participação em projetos de descarbonização desenvolvidos na área de atuação do setor, bem como a montante e a jusante da cadeia de valor (por exemplo no setor do *shipping*).

Análise de Custos e Benefícios

A modelação do cenário de descarbonização, Neutralidade Carbónica, assenta numa análise integrada da adequabilidade, exequibilidade técnica e viabilidade económica das medidas de descarbonização no contexto nacional. Esta análise centra-se na aplicação de um conjunto de critérios de avaliação que permitem assegurar a coerência das opções consideradas com o enquadramento tecnológico, económico e estratégico do setor CRMN em Portugal.

Os critérios de avaliação considerados foram os seguintes:

- **Potencial de redução de GEE:** estima o potencial de mitigação de emissões de GEE resultante da adoção de cada medida, constituindo um critério fundamental para a hierarquização e priorização das opções de descarbonização, em linha com os objetivos nacionais e europeus.
- **Nível de Maturidade Tecnológica (TRL – *Technology Readiness Level*):** reflete o grau de desenvolvimento e prontidão de cada tecnologia, uma escala de 1 a 9. Quanto mais elevado o TRL, maior a probabilidade de implementação bem-sucedida da tecnologia, no horizonte temporal considerado, no contexto do setor CRMN em Portugal;
- **Custo-Eficiência:** analisa a relação entre os custos totais de investimento e operação esperados e os benefícios associados à redução de emissões de GEE, permitindo identificar as medidas com melhor desempenho ambiental, económico e maior potencial de aplicação no setor.

A avaliação de cada medida foi realizada tendo em conta a escala de classificação previamente definida para cada critério, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Escala de avaliação aplicada a cada critério, para a implementação das medidas de descarbonização do setor CRMN, em Portugal

Critério	Escala	Descritivo
Potencial de redução de GEE	%	Avalia a percentagem de redução de emissões de GEE associada a cada medida, tendo em conta o vetor que é afetado.
Nível de Maturidade Tecnológica	1-3	Tecnologias em fase inicial - pouca prontidão para aplicação prática.
	4-6	Tecnologias em fase piloto ou de demonstração em ambiente relevante, com viabilidade técnica parcialmente comprovada.
	7-9	Tecnologias maduras, já implementadas em escala industrial - prontas para aplicação imediata no setor
Custo- Eficiência	Reduzido	Custos elevados face aos benefícios
	Moderado	Custos e benefícios equilibrados, implementação viável com retorno a médio prazo.
	Elevado	Baixo custo e/ou benefícios significativos.

Desta forma é possível assegurar uma abordagem comparável, e consistente na seleção das medidas que integram o cenário de Neutralidade Carbónica. Os resultados desta análise, consolidados na Tabela 4, permitem analisar de forma abrangente a viabilidade da adoção das medidas de descarbonização no contexto do setor CRMN em Portugal.

Tabela 4 - Avaliação da viabilidade de implementação das medidas de descarbonização no setor de CRMN em Portugal, com base nos critérios previamente identificados

Medidas de Descarbonização	Potencial de redução de GEE, até 2050	Nível de Maturidade Tecnológica	Custo-Eficiência
Aumentar a eficiência energética nos processos industriais	-12% no consumo de energia elétrica	7-9	Elevado
Eletrificação dos equipamentos estacionários	-70% no consumo de produtos petrolíferos; - 70% no consumo de GPL, - 70% no consumo de gás natural	4-6	Reduzido
Substituição da frota por veículos a biocombustível ou elétricos	- 70% no consumo de combustíveis fósseis	4-6	Moderado
Produção e utilização de energia elétrica de origem renovável	-50% no consumo de energia elétrica proveniente da rede elétrica nacional	4-6	Moderado
Descarbonização da rede elétrica nacional ²⁸	- 99% nas emissões de GEE provenientes do consumo de energia elétrica	-	-
Compensação de Emissões	-100%, impacte nas emissões de GEE remanescentes	-	-

A eletrificação dos equipamentos estacionários constitui a ação mais relevante para uma efetiva descarbonização do setor CRMN. Esta medida apresenta um potencial elevado de redução de emissões de GEE, uma vez que, assenta na substituição de equipamentos que utilizam exclusivamente combustíveis fósseis para equipamentos equivalentes cujo vetor energético é a energia elétrica.

Apesar de apresentar um nível de maturidade tecnológica moderado, os custos associados aos investimentos iniciais são elevados, bem como as necessidades de adaptação das infraestruturas elétricas existentes, o que condiciona a implementação desta medida, a qual deverá ocorrer de forma faseada ao longo do horizonte temporal do cenário.

Contudo, quando articulada com a crescente integração de fontes de energia renovável no *mix* energético nacional e com a instalação de parques fotovoltaicos nas próprias

²⁸ Constitui uma medida com afetação indireta, uma vez que a descarbonização do *mix* energético nacional ocorrerá independentemente da evolução do setor CRMN

instalações, o potencial de descarbonização do setor aumenta de forma muito significativa. Neste contexto, a eletrificação dos equipamentos, associada à produção local de energia renovável, configura-se como a estratégia preferencial que o setor pode adotar para maximizar a sua capacidade de descarbonização. A implementação de soluções de produção local de energia apresenta ainda a vantagem adicional de reduzir a dependência do *mix* energético nacional, contribuindo para o aumento da autonomia energética dos estaleiros.

A substituição da frota, quer de veículos ligeiros por veículos elétricos quer a substituição de veículos de mercadorias por veículos movidos a biocombustíveis, constitui igualmente uma medida estratégica muito relevante para a descarbonização do setor CRMN. Esta ação permite uma redução significativa das emissões de GEE associadas à atividade de transporte, através da substituição progressiva dos combustíveis fósseis por vetores energéticos de menor intensidade carbónica.

Apensar de apresentar um nível de maturidade tecnológico elevado, esta medida implica custos de investimentos consideráveis, que decorrem da necessidade de aquisição de novos veículos mais eficientes a nível ambiental e compatíveis com as exigências operacionais do setor. A sua implementação deverá ocorrer de forma gradual e ao longo dos 25 anos considerados como horizonte temporal do cenário Neutralidade Carbónica, tendo em conta a disponibilidade de soluções no mercado e os custos associados.

5 Trajetórias de Descarbonização

Com base nos vetores de descarbonização previamente identificados para o setor CRMN, foi modelado o cenário de descarbonização até 2050 - **Cenário Neutralidade Carbónica**. A análise deste cenário foi realizada em comparação com a **Trajatória de Referência**, que estima a evolução de emissões de GEE no caso em que o setor tem um nível de ambição muito reduzido.

A construção dos cenários de referência baseia-se nos dados oficiais de **emissões de Âmbito 1 e 2 do setor CRMN**, apresentados anteriormente. As emissões de Âmbito 3 não foram incluídas na presente análise devido à inexistência de dados oficiais que possibilitassem o seu cálculo. Consequentemente, esta limitação implica que a modelação realizada não reflita integralmente o perfil carbónico total do setor, uma vez que ficaram excluídas as emissões associadas à cadeia de valor.

Projeções para o setor

No âmbito da modelação do cenário de descarbonização para o setor, foi considerada uma trajetória de referência. A trajetória de referência serve como base para a comparação com o cenário de descarbonização e considera que os padrões do presente se mantêm inalterados no futuro, pressupondo apenas as políticas e medidas atuais em vigor com impacto nas emissões de GEE, e não considerando políticas de descarbonização adicionais.

Perante a ausência de projeções específicas para o setor CRMN nos documentos estratégicos e de referência a nível nacional, considerou-se como projeção base para o setor a projeção apresentada no RNC2050 referente à “Outra indústria”. Esta projeção segue uma tendência global de crescimento moderado, no entanto, com variações significativas entre intervalos temporais. Entre 2025 e 2035 verifica-se um aumento de 0,1%, enquanto o maior crescimento ocorre no período entre 2035 e 2040 com um acréscimo de 0,2% face a 2035. Nos períodos subsequentes, 2040 a 2050, prevê-se uma estabilização da taxa anual de crescimento, mantendo-se nos 0,1%.

Ainda no âmbito da caracterização da trajetória de Referência e do cenário de Neutralidade Carbónica foram caracterizadas diversas variáveis e que servem como linhas condutoras para o exercício de modelação:

- **Perfil económico** – Avalia a evolução da economia portuguesa e o impacto no setor CRMN, considerando o valor da taxa de crescimento da “Outra Indústria” e do VAB do setor CRMN. Mantém-se inalterado na trajetória de Referência e no cenário Neutralidade Carbónica.
- **Perfil energético e de emissões** – Analisa o consumo energético médio anual, a repartição por vetores energéticos e o perfil da rede elétrica nacional. As emissões de GEE são calculadas com base no perfil energético e nos fatores de emissão apresentados no *National Inventory Document* (NID). Mantém-se inalterado na trajetória de Referência.
- **Perfil tecnológico** – Relaciona o uso de tecnologia no setor. No cenário de Referência mantém-se inalterado, enquanto no cenário Neutralidade Carbónica existe incorporação tecnológica relacionada com a alteração dos vetores de descarbonização.
- **Perfil de políticas públicas** – Apenas são incluídas as medidas nacionais em vigor até 2024. Na primeira trajetória o setor beneficia apenas indiretamente destas políticas, enquanto no segundo, vai ao encontro das metas estabelecidas.

As variáveis descritas anteriormente são modeladas no cálculo dos cenários para o setor, trajetória de Referência e Neutralidade Carbónica, em períodos de cinco anos: 2025, 2030, 2035, 2040, 2045 e 2050, sendo o ano de referência 2023, cujos valores se assumem para 2025.

Trajétoria de Referência

A trajetória de Referência constitui a única trajetória definida para a comparação com o cenário de descarbonização do setor CRMN em Portugal até 2050. Tal como referido anteriormente, esta trajetória assume uma manutenção das tecnologias atuais, sem a implementação de medidas específicas de descarbonização no setor. Pressupõe que o setor não irá promover esforços no sentido de reduzir as emissões de GEE decorrentes da sua atividade, nem registrará avanços na adoção de tecnologias mais eficientes ou menos intensivas em carbono.

Este cenário permite compreender as consequências da inação no processo de descarbonização, servindo como linha de base para a comparação face ao cenário de descarbonização modelado.

Os gráficos da Figura 12 apresentam o consumo energético e as emissões de GEE na situação de referência (2022) no setor CRMN.

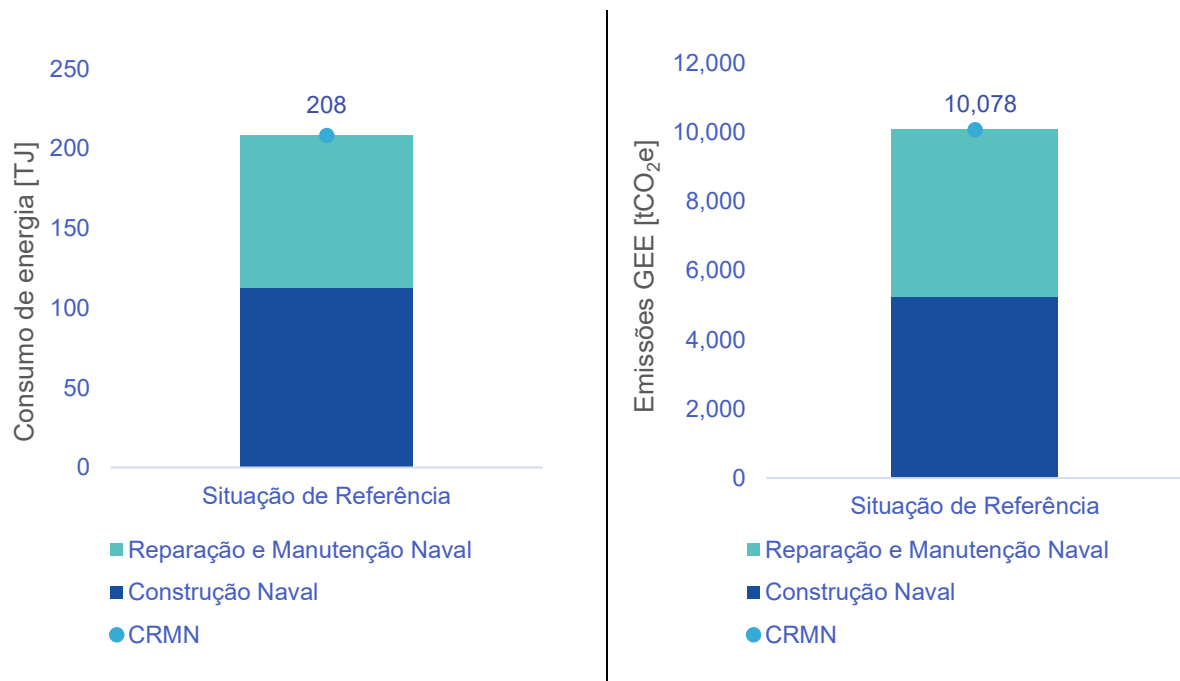


Figura 12 - Caracterização da Situação de referência do consumo de energia e emissões de GEE do setor CRMN em Portugal

Com base na situação de referência, foram aplicadas as projeções de crescimento de acordo com o documento estratégico nacional, RNC2050. Na Figura 13 é apresentada a evolução das emissões de GEE até 2050 na trajetória de referência. Nesta trajetória, as emissões aumentam no setor até 2050.

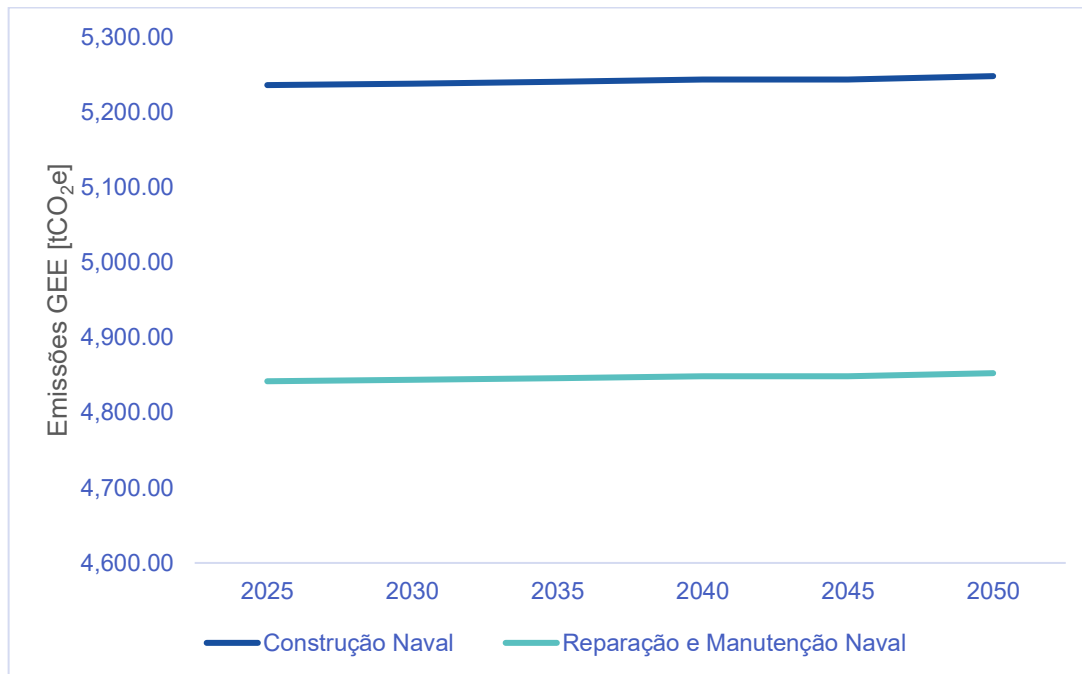


Figura 13 – Projeção de evolução das emissões de GEE para a situação de referência, para os setores de construção e reparação naval.

Cenário de descarbonização

Após o estabelecimento da trajetória de Referência, iniciou-se a modelação do cenário de descarbonização Neutralidade Carbónica para a categoria de Construção Naval e Reparação e Manutenção Naval, os resultados serão apresentados para cada uma destas categorias, mas também de forma global, isto é, comparando a trajetória de Referência global para o setor CRMN com o cenário de Neutralidade Carbónica global também do setor CRMN.

De acordo com a modelação elaborada para a categoria de Construção Naval, é possível alcançar uma redução de **87%** das emissões globais da atividade, em 2050. Já na categoria da Reparação e Manutenção Naval, prevê-se uma redução de **84%**. A Figura 14 ilustra a comparação entre a trajetória de Referência e o cenário Neutralidade Carbónica para cada uma das categorias, projetada ao longo dos 25 anos considerados como horizonte temporal.

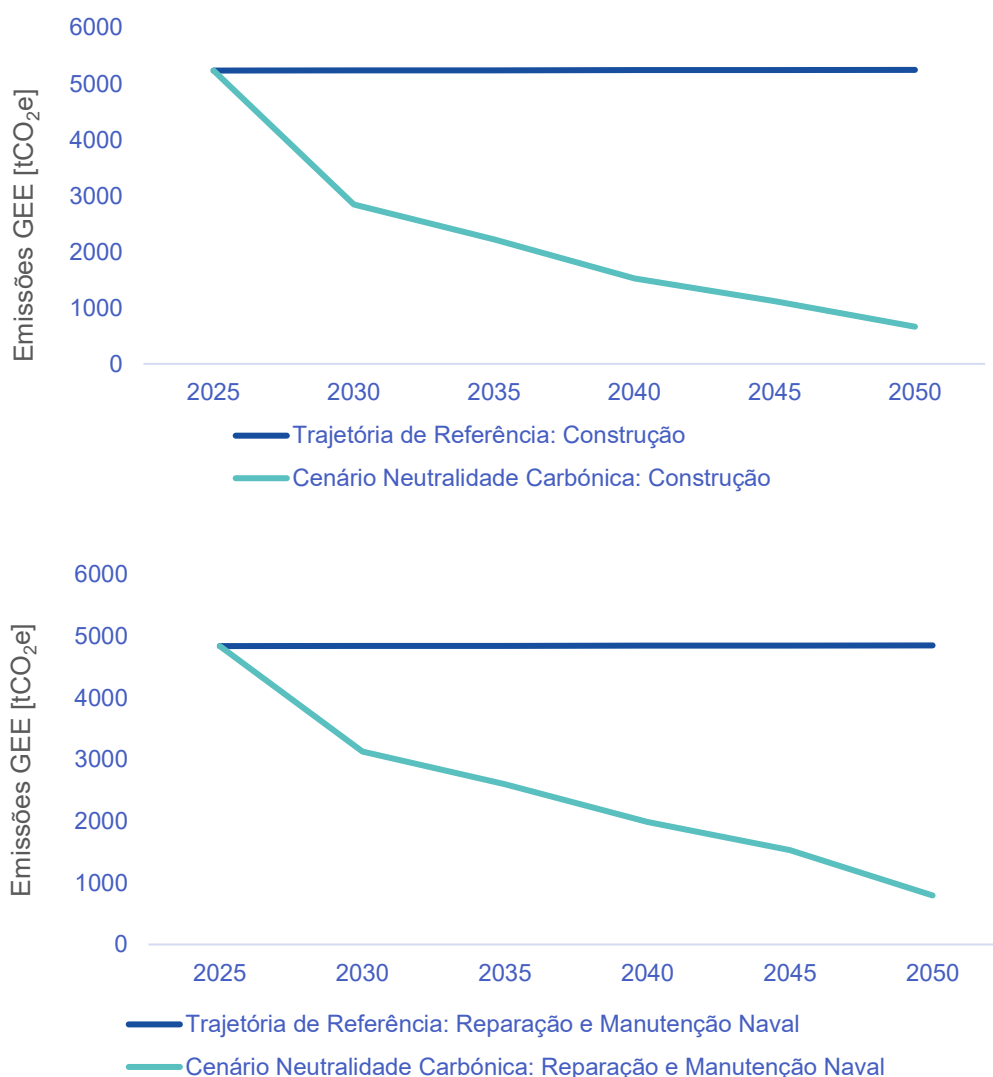


Figura 14 - Projeção da trajetória de Referência e cenário Neutralidade Carbónica para as categorias de Construção (em cima) e Reparação e Manutenção Naval (em baixo), entre 2025 e 2050

Relativamente à variação do consumo energético, o perfil modelado para cada uma das categorias, difere em função do ponto de partida, ou seja, do perfil de emissões identificado na situação de referência em 2025. No entanto, conforme ilustrado na Figura 15, estima-se que em ambas as categorias apresentem um cenário de descarbonização semelhante até 2050.

Esta convergência resulta, por um lado da redução acentuada de emissões de GEE associadas à utilização de combustíveis fósseis e, por outro lado, da redução de emissões associadas ao consumo de energia elétrica, decorrente da descarbonização progressiva do *mix* elétrico nacional. Este processo constitui uma oportunidade indireta de descarbonização, transversal a todos os setores que integrem a energia elétrica no seu perfil de consumo energético.

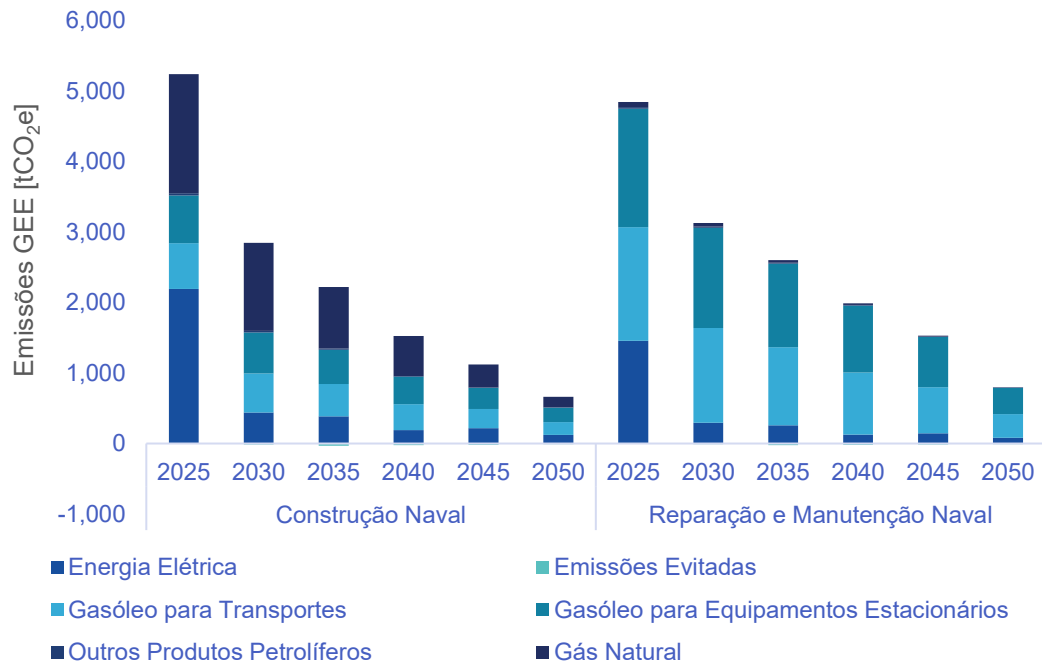


Figura 15 - Variação do perfil de emissões de GEE para cada uma das categorias, Construção Naval e Reparação e Manutenção Naval.

Construção Naval

A Figura 16 apresenta a comparação das emissões associadas aos diferentes vetores energéticos considerados na atividade de Construção Naval, na situação de referência (2025) e no cenário de Neutralidade Carbónica (2050). Os vetores que mais influenciam o perfil de emissões do setor são a energia elétrica e o gás natural, que representam respetivamente 42% e 32% do total de emissões de GEE da atividade operacional.

Em 2050, de acordo com as medidas propostas, espera-se que a energia elétrica represente apenas 19% do total de emissões de GEE, enquanto os produtos petrolíferos continuam a ser responsáveis por mais de 50% das emissões, sendo o remanescente associado ao gás natural.

Este resultado decorre da natureza das atividades associadas à construção naval, muitas das quais dependem de processos que não são passíveis de eletrificar nem de substituição integral por combustíveis totalmente neutros em carbono. Um exemplo relevante é o transporte de equipamentos e materiais através de veículos de transporte de mercadorias, que dependem fortemente de combustíveis fósseis, mesmo em cenários de elevada descarbonização do setor.

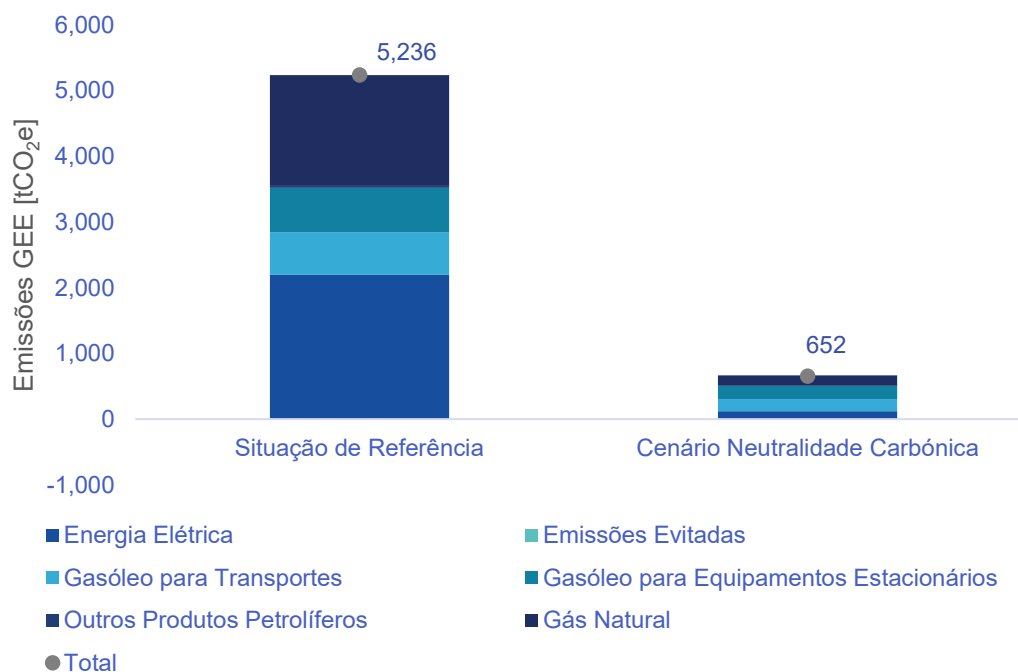


Figura 16 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria Construção Naval

Relativamente à evolução dos consumos energéticos, a estratégia assenta num aumento progressivo da eletrificação através da substituição gradual de vetores fósseis, nomeadamente o gás natural e os produtos petrolíferos, por energia elétrica.

Neste contexto, em 2025, a energia elétrica representava cerca de 66% do perfil energético da categoria de Construção Naval, prevendo-se que, em 2050, a sua contribuição aumente para aproximadamente 92%. Conjuntamente com o processo de eletrificação, estima-se a integração de energia de origem renovável na matriz energética do setor

Quanto aos combustíveis fósseis, a redução estimada do seu conjunto, incluindo gasóleo para equipamentos e transporte e o gás natural, é da ordem dos 81%. Estes vetores representavam em 2025, cerca de 34% do consumo energético e deverão reduzir-se para

aproximadamente 8% em 2050. A Figura 17 ilustra a variação dos vetores energéticos considerados, ao longo do horizonte temporal considerado.

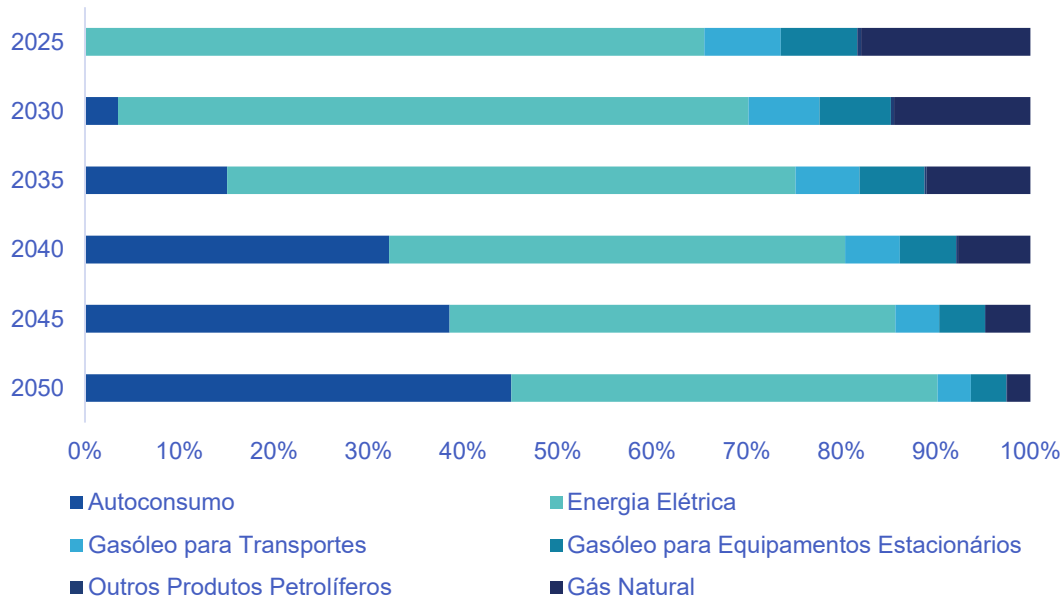


Figura 17 - Variação dos vetores energéticos ao longo do tempo, na categoria de Construção Naval

Reparação e Manutenção Naval

Nesta categoria, os produtos petrolíferos constituem em 2025 a principal fonte de emissões de GEE, sendo utilizados em equipamentos estacionários, transporte e outro tipo de maquinaria associada às atividades de reparação e manutenção naval. Nesse ano, este vetor energético é responsável por cerca de 68% do total de emissões de GEE analisadas para o setor.

Com base nas medidas de descarbonização definidas especificamente para este setor e tendo em conta o tipo de atividades do mesmo, estima-se que seja possível alcançar 82% de redução das emissões associadas aos produtos petrolíferos em 2050, face a 2025.

Contudo, apesar de se prever, em 2050, que os produtos petrolíferos representem apenas cerca de 17% do consumo energético total, sendo os restantes 83% assegurados por energia elétrica, este vetor continua a ser responsável por 90% das emissões de GEE do setor da Reparação e Manutenção Naval.

Esta relação inversa entre o consumo energético e as emissões de GEE explica-se pelo elevado teor carbónico dos combustíveis fósseis e pela persistência de atividades que dependem deste tipo de combustível fóssil. Atividades estas que à data de hoje não podem ser substituídas na totalidade por outras alternativas neutras em carbono.

A Figura 18 apresenta a comparação das emissões associadas aos diferentes vetores energéticos utilizados na atividade de Reparação e Manutenção Naval.

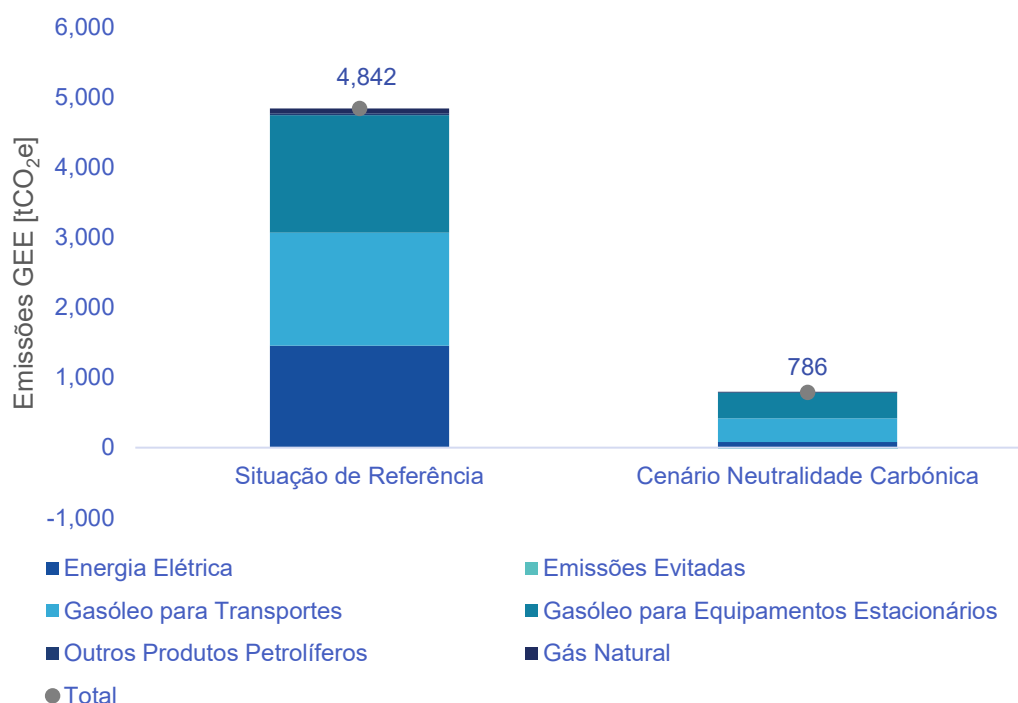


Figura 18 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria Reparação e Manutenção Naval

No que respeita a evolução dos perfis de consumos energéticos, e em linha com a abordagem adotada anteriormente, a estratégia foca-se na eletrificação de todos os

consumos de combustíveis fósseis que sejam tecnicamente passíveis de eletrificação, restringindo a utilização destes vetores às atividades que, pela sua natureza, só podem ser executadas com recurso a combustíveis fósseis. A modelação do autoconsumo foi elaborada de forma consistente com o exercício anterior.

Em 2025, o principal vetor energético na categoria de Reparação e Manutenção Naval era a energia elétrica, à semelhança do observado na Construção Naval. Contudo, nesta atividade, o gás natural assume um papel praticamente residual, sendo registado um consumo significativo de gasóleo, quer em equipamentos estacionários quer no transporte.

Ao longo do horizonte temporal considerado, observa-se uma redução progressiva do consumo de combustíveis fósseis, que representam cerca de 49% do perfil energético em 2025 e que, em 2050, se estima que venha a representar aproximadamente 17%. Este percurso traduz-se numa redução global de impacto de cerca de 77% do consumo de combustíveis fósseis. A Figura 19 ilustra a variação dos vetores energéticos considerados, ao longo do horizonte temporal considerado.

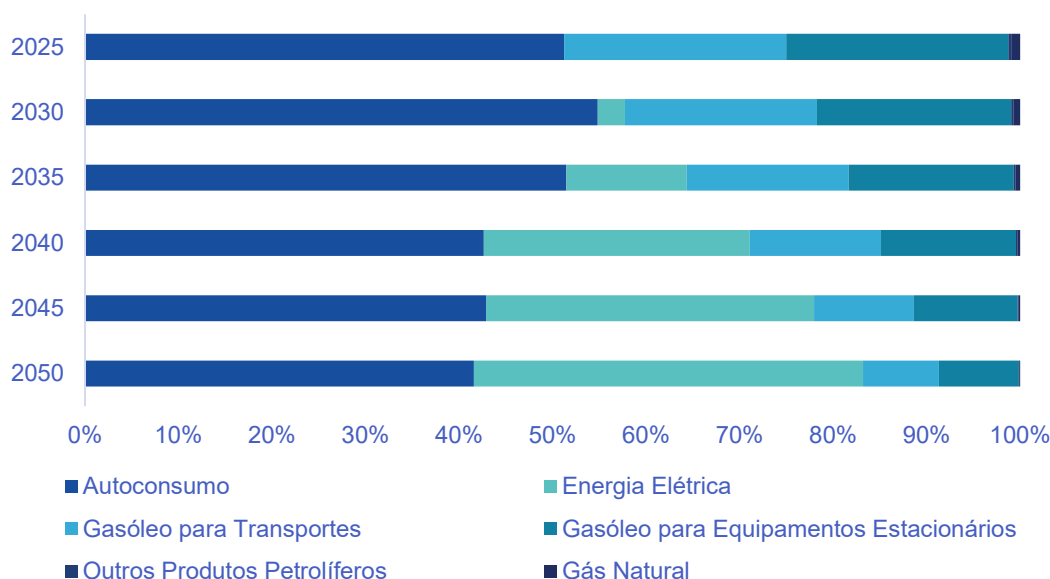


Figura 19 - Variação dos vetores energéticos ao longo do tempo, na categoria de Reparação e Manutenção Naval

Análise Conjunta – Construção, Reparação e Manutenção Naval

Nos subcapítulos anteriores, procedeu-se à análise dos resultados de forma desagregada para as duas categorias que constituem o setor CRMN, Construção Naval e a Reparação e Manutenção Naval. Contudo, considera-se igualmente relevante analisar o setor de forma integrada, uma vez que ambas as atividades contribuem para a caracterização global do setor.

Assim, tendo por base as medidas de descarbonização definidas anteriormente, estima-se que, numa abordagem conjunta, o setor seja capaz de reduzir as suas emissões em cerca de **86%** em 2050, face à situação de referência de 2025.

A Figura 20 ilustra a comparação entre a trajetória de Referência e o cenário de descarbonização Neutralidade Carbónica, calculados para o setor CRMN.

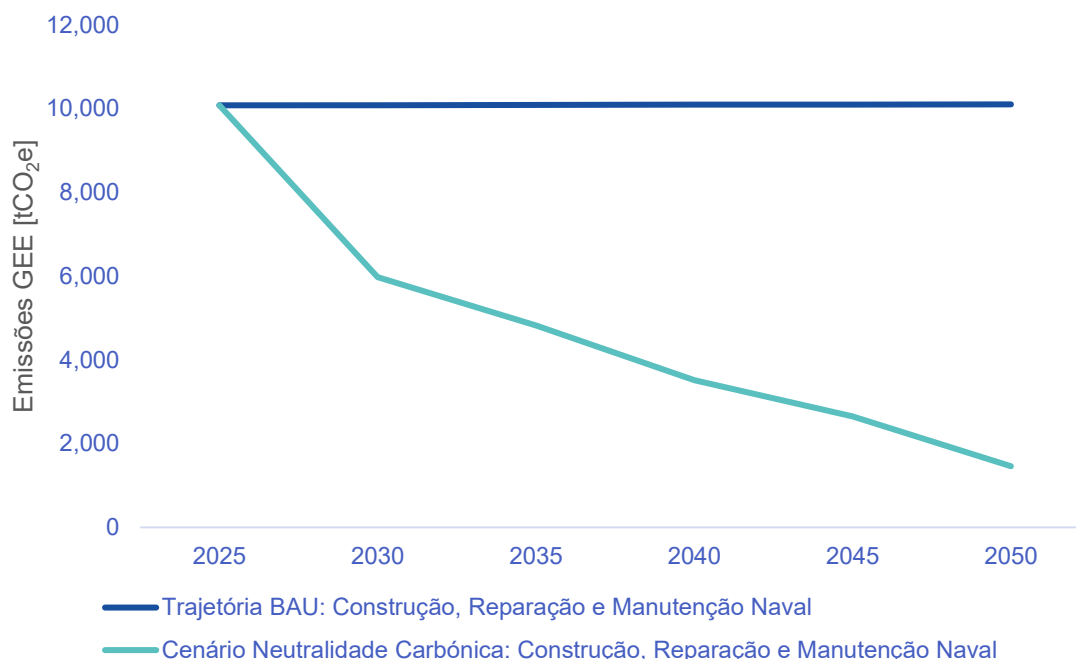


Figura 20 - Projeção da trajetória de Referência e Neutralidade Carbónica para o setor CRMN, entre 2025 e 2050

A análise ao setor CRMN corresponde à avaliação conjunta das duas categorias apresentadas anteriormente. Deste modo, a análise de resultados relativos aos vetores energéticos mais relevantes em termos de emissões de GEE reflete, de forma agregada, as relações já observadas nas categorias analisadas individualmente.

De forma global, os combustíveis fósseis, nomeadamente, os produtos petrolíferos e o gás natural, constituem em 2025 cerca de 64% das emissões globais de GEE do setor. Deste total, aproximadamente 46% resultam da utilização de produtos petrolíferos, enquanto cerca de 17% estão associados à utilização de gás natural. A energia elétrica contribui com os 36% remanescentes das emissões

Atendendo às medidas de descarbonização definidas para o setor CRMN, e considerando em primeiro lugar os produtos petrolíferos, utilizados sobretudo em equipamentos estacionário e no transporte, estima-se que seja possível alcançar, até 2050, uma redução de 81% das emissões associadas a este vetor, face à situação de referência de 2025.

Paralelamente, prevê-se que as emissões associadas ao consumo de gás natural registem uma redução ainda mais acentuada, de cerca de 91%.

No seu conjunto, estas reduções traduzem-se numa diminuição global de cerca de 84% das emissões associadas com os combustíveis fósseis em 2050. Relativamente à energia elétrica, apesar de se prever um aumento significativo do seu peso no consumo energético total, estima-se uma redução também expressiva das emissões associadas, na ordem dos 94% até 2050, face a 2025, o que reflete a descarbonização gradual do *mix* elétrico nacional.

A maior redução de emissões espera-se que ocorra no período compreendido entre 2025 e 2035, estimando-se uma diminuição de cerca de 41% face à situação de referência em 2025.

Essa redução é fortemente influenciada por fatores externos ao setor, em particular pela descarbonização progressiva do *mix* elétrico nacional. De acordo com as metas estabelecidas nos documentos de referência nacionais, nomeadamente o PNEC2030 e o RNC2050, prevê-se que o fator de emissão da eletricidade diminua cerca de 88% entre 2025 e 2030.

Esta evolução externa tem um impacto particularmente positivo em setores como o CRMN, onde em 2025, a energia elétrica representa aproximadamente 59% do consumo energético total e é responsável por cerca de 36% das emissões totais de GEE. Verificando-se uma relação de proporcionalidade direta entre a diminuição da intensidade carbónica da eletricidade e a diminuição significativa das emissões do setor, mesmo em cenários de aumento do consumo elétrico.

No período subsequente, entre 2030 e 2050, a redução percentual das emissões não se prevê gradual, verificando-se uma diminuição não constante a taxas compreendidas entre 8% e 13% deverá descarbonizar em cerca de 88%. Ora, esta influência externa, impacta de forma muito positiva a descarbonização de setores como o CRMN, onde em 2025 este vetor energético representa cerca de 59% do perfil de consumo energético total, e consequentemente, 36% das emissões totais de GEE. Entre 2030 e 2050, a redução percentual de emissões não se prevê que seja constante, no entanto, diminui a uma taxa entre 8% e 13%.

Tal como referido anteriormente, estima-se que a redução total de emissões do setor CRMN atinja cerca de 86%. Contudo, importa reforçar a incerteza inerente ao cálculo do cenário de Neutralidade Carbónica. A incerteza associada a este exercício de modelação é expectável, uma vez que, assenta em projeções e pressupostos relativos à evolução futura do setor.

Estima-se ainda que a produção de energia renovável e a sua incorporação na matriz energética do setor, seja através da instalação de produção renovável local, ou pela aquisição de GOs e PPAs, venham a desempenhar um papel relevante na transição energética. Não só por permitirem reduzir a dependência energética face à rede elétrica nacional, mas também por proporcionarem um potencial adicional de redução de emissões. Este efeito é designado por “Emissões Evitadas”, e corresponde à eletricidade de origem renovável produzida localmente, a qual, por apresentar emissões nulas na fase de produção, substitui o consumo de energia proveniente da rede elétrica nacional, que possui um fator de emissão de GEE associados.

Salienta-se ainda que, considerando o conjunto de tecnologias atualmente disponíveis e contempladas no presente roteiro, subsistem emissões remanescentes na ordem das 1 438 tCO_{2e}. Neste contexto, a neutralidade carbónica do setor apenas poderá ser alcançada mediante a compensação das emissões residuais de CO_{2e}, a implementar como medida complementar às ações que permitem a redução direta de emissões de GEE.

A Figura 21 apresenta a comparação das emissões associadas aos diferentes vetores energéticos considerados no setor CRMN.

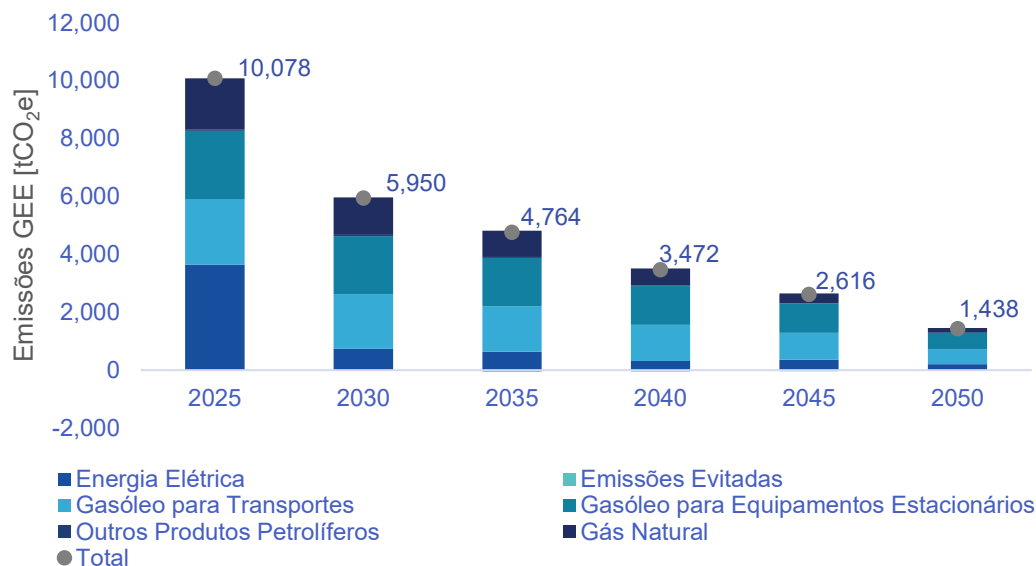


Figura 21 - Comparação da situação de referência (2025) e do cenário Neutralidade Carbónica (2050), para os vetores energéticos da categoria CRMN

A análise da evolução dos vetores energéticos ao longo do período considerado, em linha com o que foi observado para cada uma das categorias individualmente e considerando as medidas de descarbonização identificadas para o setor, evidencia, conforme ilustrado na Figura 22, uma aposta crescente na eletrificação dos consumos. Estima-se que a energia elétrica passe de cerca de 59% do perfil energético em 2025 para aproximadamente 80% em 2050.

Relativamente aos combustíveis fósseis, que em 2025 representam cerca de 41% do consumo energético total, prevê-se uma redução significativa para cerca de 12% em 2050. Esta fração residual está relacionada com os equipamentos estacionários específicos e ao transporte, atividades para as quais, à data, ainda não é possível assegurar a substituição integral por eletricidade ou por combustíveis alternativos neutros em carbono.

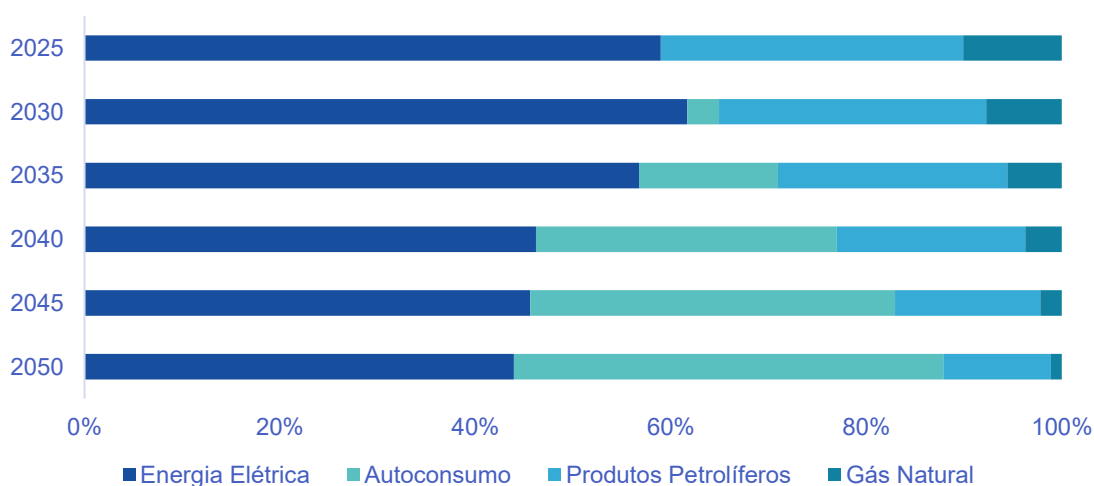


Figura 22 - Variação dos vetores energéticos no período analisado, no setor CRMN

6 Modelo de Governação

A utilização de critérios ambientais, sociais e de governação (*ESG – Environmental, Social, Governance*) constitui uma ferramenta que permite avaliar a sustentabilidade e o impacto não financeiro de uma empresa ou projeto, sendo hoje fundamental para a competitividade das organizações e para a tomada de decisão de investidores.

A integração dos critérios ESG no RNCZ é vital para assegurar o seu sucesso a longo prazo. A implementação destes critérios, juntamente com o seu reporte, é capaz de melhorar a sua reputação, atrair investimento e melhorar o seu desempenho financeiro rumo à descarbonização, reduzindo assim os riscos e criando valor para a indústria naval. É também uma oportunidade de atrair e manter talento na indústria naval.

No âmbito do Roteiro, foi conduzido um levantamento estratégico de boas práticas ESG, que envolveu a recolha de dados sobre o desempenho ESG das empresas do setor de transporte marítimo a nível global, avaliando a capacidade da indústria de se alinhar com os objetivos internacionais de descarbonização. Esta análise foi materializada no Relatório “Desempenho ESG da Frota Mundial – Levantamento ESG e Entrevistas com Armadores Internacionais”²⁹ e oferece uma visão dos principais critérios utilizados nas empresas do setor.

Uma boa governação é fundamental para garantir a sustentabilidade a longo prazo, garantindo uma tomada de decisões sólida, promovendo a confiança e um comportamento ético. Podem aplicar-se medidas para aumentar a transparência e conformidade legal, política anticorrupção, códigos de ética e de conduta, políticas de compras responsáveis ou gestão de riscos, entre outros.

Para garantir o sucesso de implementação do Roteiro, foi idealizada uma abordagem setorial para colocar em prática os princípios estruturais constantes do Roteiro, que possa alavancar a descarbonização do setor CRMN de forma eficaz. A Figura 23 apresenta o modelo de governação das partes interessadas na indústria naval, envolvidas na aplicação do Roteiro.



Figura 23 - Modelo de governança das partes interessadas no RNCZ

As associações setoriais, como a Fórum Oceano e a CEVAL – entidades gestoras do RNCZ, encontram-se numa posição estratégica para liderar o processo de transição do setor, dinamizando a participação das empresas, envolvendo universidades e garantindo o desenvolvimento local.

²⁹ O Relatório pode ser consultado no website do projeto, <https://rncz.pt/>

É fundamental envolver as empresas neste processo e garantir uma comunicação eficaz entre elas e a entidade gestora do RNCZ. É da competência dos líderes setoriais, como a CEVAL e o Fórum Oceano, operacionalizar as ambições traçadas neste Roteiro, orientando as empresas nas novas tecnologias a implementar, na capacitação dos trabalhadores e na gestão do financiamento, atuando como um agregador do setor. Uma forma de garantir o compromisso inicial das empresas poderá ser através do **estabelecimento de um código de conduta**.

As Universidades representam outra peça chave do setor, realizando a investigação necessária para agilizar processos inovadores e testar tecnologias, mas também na formação de novos quadros técnicos, podendo também atuar na requalificação profissional de trabalhadores do setor.

O setor necessita ainda de se envolver no seu contexto comunitário e urbano, reforçando o seu papel de motor de desenvolvimento local, através de parcerias e ações, nomeadamente enquanto ator dos portos marítimos.

Para uma gestão mais eficaz dos recursos, as associações que lideram o processo devem facilitar o acesso das empresas a financiamento, facilitando os acordos intersectoriais e a agregação de dados das empresas, gerindo e monitorizando a performance dos indicadores ESG do setor.

Para efetivar o modelo operacional apresentado, foram desenvolvidos dois documentos estratégicos que contribuem para envolver as empresas, reforçando a sua participação, compromisso e sinergias entre elas, que se descrevem de seguida.

CÓDIGO DE CONDUTA

O Código de Conduta (CC) estabelece os princípios para alcançar a redução das emissões dos gases com efeito de estufa e contribuir para as metas de descarbonização do setor, em articulação com os compromissos europeus e nacionais. É um documento de carácter voluntário, que pretende reunir todas as empresas do cluster CRMN, independentemente da sua dimensão, estando assim aberto a todas as empresas que assumam o compromisso coletivo com a descarbonização do setor.

O CC traduz o compromisso e empenho das empresas subscritoras para com o Roteiro Naval Carbono Zero e a sua consequente implementação na indústria naval, alinhando a atividade das empresas com o Roteiro.

Prevê-se que o CC seja revisto periodicamente de forma a integrar as novas legislações que surjam a nível nacional e europeu, integrar atualização de metas intermédias ou incorporar novas tecnologias.

O documento “Código de Conduta” encontra-se disponível para consulta no website do projeto.

CONTRATO DE SIMBIOSE

O Contrato de Simbiose estabelece o acordo entre duas empresas de forma a otimizar recursos através da utilização de resíduos de uma indústria como matéria-prima noutra indústria. O Contrato de Simbiose regula os termos e condições em que se verifica o fornecimento de resíduos entre as partes.

Este Contrato coloca em prática os princípios de economia circular, promovendo o fecho dos ciclos dos materiais e estabelecendo simbioses industriais.

O documento “Contrato de Simbiose” encontra-se disponível para consulta no website do projeto.

7 Considerações finais

O Roteiro Naval Carbono Zero apresenta um caminho para a descarbonização do setor de construção e reparação naval, propondo uma trajetória alinhada com os objetivos europeus e nacionais em matéria de neutralidade carbónica. A descarbonização do setor implica inovação tecnológica com a adaptação de alguns processos produtivos, a integração de novas fontes energéticas e a digitalização do processo de construção e reparação naval.

O Roteiro permite identificar os principais eixos de atuação para reduzir a pegada de carbono da indústria naval – eficiência energética, energias renováveis, utilização de combustíveis alternativos, digitalização e eficiência material – e desenvolve uma trajetória de descarbonização até 2050, que converge com a neutralidade carbónica. Entre as tecnologias prioritárias para a descarbonização do setor naval, a eficiência energética constitui a opção primordial, através da otimização do funcionamento dos processos e equipamentos e da modernização de equipamentos obsoletos. A integração de fontes de energia renovável, como solar fotovoltaico, eólica ou combustíveis neutros em carbono, é essencial para eliminar gradualmente a dependência de combustíveis fósseis. Também a eletrificação de equipamentos constitui uma alternativa para a substituição dos combustíveis fósseis.

O trabalho desenvolvido no âmbito do Roteiro incluiu várias sessões de auscultação ao setor, em que a visão especializada dos peritos no terreno, resultou em recomendações sobre a qualidade e forma de implementação das medidas apresentadas no Roteiro. Foram ainda realizadas auditorias energéticas a várias empresas do setor CRMN que contribuíram para uma análise dos consumos energéticos reais, caracterização do setor e identificação de desafios comuns às empresas.

O setor apresenta um potencial significativo de descarbonização, dada a sua matriz energética que depende significativamente da eletricidade e dos produtos de petrolíferos. As projeções de referência dos consumos energéticos e emissões de GEE para 2050 apontam para um pequeno crescimento do setor. A trajetória de neutralidade carbónica, desenvolvida numa combinação gradual das medidas de descarbonização identificadas, prevê que a indústria naval reduza as suas emissões para 1438 tCO₂e (-86% face a 2025) em 2050. O remanescente de emissões deve-se a algumas tecnologias que consomem produtos petrolíferos, para as quais não se prevê uma substituição viável até 2050. No entanto, para atingir a neutralidade carbónica, o setor pode e deve recorrer à compensação de emissões de CO₂, através do apoio a projetos de sustentabilidade, preferencialmente na área da indústria naval e que possam acelerar o seu próprio processo de descarbonização.

Esta transição encerra em si alguns desafios tecnológicos e económicos para o setor, mas é também uma importante oportunidade do setor alavancar a sua competitividade. As medidas propostas dentro de cada eixo exigem coordenação a nível setorial, acesso a financiamento e o apoio de políticas públicas integradas. Ao nível interno das empresas, é ainda necessária uma capacitação de profissionais nas áreas transversais à sustentabilidade. Trabalhar de forma colaborativa com a cadeia de valor (fornecedores, clientes) é também essencial para encontrar abordagens diferenciadas para cada estaleiro.

O desafio seguinte será transformar esta trajetória num plano de ação, envolvendo várias partes interessadas e diferentes escalas de atuação, desde os pequenos estaleiros navais aos órgãos decisores. A mobilização das autoridades nacionais, das empresas e dos próprios colaboradores ditará o sucesso na convergência com os objetivos assumidos. Neste enquadramento, o papel das associações setoriais é crucial. Enquanto promotoras do Roteiro, a CEVAL e o Fórum Oceano encontram-se capazes e dotadas das competências necessárias para mobilizar o setor e liderar as ações que permitam acelerar a transição no setor da construção e reparação naval.



RNCZ

Roteiro Naval Carbono Zero

