



# Relatório III

## Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza

## ÍNDICE

<b>RESUMO EXECUTIVO</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2. CONTEXTO DO PORTO DE FORTALEZA</b>	<b>11</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS	11
2.2. PRINCIPAIS TIPOS DE CARGA MOVIMENTADA	11
2.3. SITUAÇÃO ATUAL	14
2.4. MOTIVAÇÕES	18
<b>3. METODOLOGIA</b>	<b>20</b>
3.1. METAS DE DESCARBONIZAÇÃO	21
3.2. ANO-ALVO	21
3.3. PREÇO DO CARBONO	22
<b>4. SITUAÇÃO FUTURA</b>	<b>23</b>
4.1. PROJEÇÃO DE NAVIOS E REBOCADORES	26
4.2. PROJEÇÃO DA CDC E TERMINAIS	26
4.3. PROJEÇÃO DE CAMINHÕES E FERROVIAS	27
4.4. PROJEÇÃO GLOBAL	28
<b>5. TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS</b>	<b>29</b>
5.1. NAVIOS	29
5.2. REBOCADORES	35
5.3. TERMINAIS	36
5.4. CAMINHÕES	42
5.5. FERROVIAS	44
5.6. ENERGIAS RENOVÁVEIS	45
5.6.1. POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	45
5.6.2. ESTUDO DE HIBRIDIZAÇÃO SOLAR COM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO EM BATERIA	50
5.6.3. ESTUDO DE HIBRIDIZAÇÃO SOLAR COM PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE	52
5.7. COMPENSAÇÃO	58
<b>6. PLANO DE AÇÃO</b>	<b>60</b>
6.1. CDC	60
6.2. NAVIOS	61
6.3. REBOCADORES	66
6.4. TERMINAIS	67
6.5. CAMINHÕES	69
6.6. FERROVIAS	71
6.7. ENERGIA RENOVÁVEL	71

<b>6.8. CENÁRIOS</b>	<b>72</b>
6.8.1. CENÁRIO CONSERVADOR	73
6.8.2. CENÁRIO OTIMISTA	75
6.8.3. COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS	77
6.8.4. VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)	79
<b>6.9. COMPENSAÇÃO</b>	<b>85</b>
<b>6.10. OUTRAS AÇÕES COMPLEMENTARES</b>	<b>86</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO I – DETALHE DAS MEDIDAS PROPOSTAS</b>	<b>90</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Porto de Fortaleza. ....	12
Figura 2 - Relação dos berços de operação do Porto de Fortaleza.....	13
Figura 3 - Acessos do Porto de Fortaleza.....	13
Figura 4 - Distribuição do volume de cargas movimentadas no Porto de Fortaleza em 2023, por tipo e produto. ...	14
Figura 5 - Emissões incluídas no Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza.....	15
Figura 6 - Emissões por tipo de embarcação e de acordo com o cais de atracação.....	16
Figura 7 - Emissões em berço, por cais e de acordo com o tipo de embarcação. ....	16
Figura 8 - Emissões totais de GEE por tipo de carga do Transporte rodoviário .....	17
Figura 9 - Benefícios estratégicos da descarbonização para a competitividade portuária .....	18
Figura 10 - Metodologia adotada para a elaboração do Plano de Descarbonização de Porto de Fortaleza.....	20
Figura 11 - Trajetórias de emissões para o setor marítimo .....	21
Figura 12 - Definição do ano-meta para o Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza .....	22
Figura 13 - Estimativa futura USD tCO <sub>2</sub> .....	22
Figura 14 - Previsões de carga (milhões toneladas) no Porto de Fortaleza .....	23
Figura 15 - Situação atual das áreas do Porto de Fortaleza.....	24
Figura 16 - Situação futura das áreas do Porto de Fortaleza .....	25
Figura 17 - Projeções anuais de emissões de GEE de navios atracados e rebocadores até 2050 .....	26
Figura 18 - Projeções anuais de emissões de GEE da CDC e dos terminais até 2050 .....	27
Figura 19 - Projeções anuais de emissões de GEE de caminhões e ferrovias até 2050.....	27
Figura 20 - Projeções anuais de emissões de GEE do Porto de Fortaleza até 2050 .....	28
Figura 21 - Instalação de sistema OPS em média tensão para navios de cruzeiro, Terminal de Altona, Hamburgo .	29
Figura 22 - Propulsão híbrida com baterias (Ro-Ro, Grimaldi) .....	30
Figura 23 – Uso de combustíveis de baixa emissão (amoníaco).....	31
Figura 24 - Projeto BlueBARGE .....	32
Figura 25 - Projeto Elemanta .....	32
Figura 26 - Projeto Silstrom. ....	33
Figura 27 – Software Paula Port CDM.....	34
Figura 28 - Guindastes Móveis de Cais elétricos.....	38
Figura 29 – Empilhadeira elétrica de alta capacidade Hyster Li-ion .....	38
Figura 30 – Reachstacker Kalmar HVO.....	39
Figura 31 - Carregadeira de Rodas Compacta Elétrica Volvo.....	40
Figura 32 – Carregadeira JCB com motor de hidrogênio .....	40
Figura 33 – Trator de terminal elétrico da Terberg .....	41
Figura 34 – Caminhão a biogás da Scania .....	42
Figura 35 - Caminhão a biogás da Scania.....	43
Figura 36 - Centro de distribuição de gás natural renovável (GNR / biometano) .....	43
Figura 37 - Programa de Logística Verde Brasil (PLVB) .....	44
Figura 38 - Áreas disponíveis para a instalação de painéis fotovoltaicos em zonas controladas pela CDC .....	46
Figura 39 - Demanda versus Geração Solar .....	49
Figura 40 - Perfil de Geração, Demanda, Armazenamento e Vertimentos .....	51
Figura 41 - Eletrolisador Alcalino Atmosférico   Nel Hydrogen.....	53
Figura 42 - Eletrolisador PEM ITM de 1 MW.....	54
Figura 43 - Hidrogeradora do projeto H <sub>2</sub> Ports localizada no Porto de Valência .....	54
Figura 44 – Configuração do Plano de Ação .....	60

Figura 45 - Esquema geral de conexão OPS em média tensão. ....	62
Figura 46 - Exemplo de instalação OPS para navios-tanque: Projeto The Green Cable para embarcações tanque no Porto de Gotemburgo. ....	63
Figura 47 - Emissões evitadas por medida no cenário conservador.....	74
Figura 48 - Investimentos previstos por medida no cenário conservador .....	74
Figura 49 - Emissões anuais do Porto de Fortaleza no cenário conservador .....	75
Figura 50 – Emissões evitadas por medida no cenário otimista.....	76
Figura 51 – Investimentos previstos por medida no cenário otimista. ....	76
Figura 52 – Emissões anuais do Porto de Fortaleza no cenário otimista.....	77
Figura 53 – Emissões do Porto de Fortaleza até 2050 por cenário.....	78
Figura 54 – Emissões específicas do Porto de Fortaleza até 2050 por cenário. ....	79
Figura 55 – VPL Conservador .....	82
Figura 56 – VPL Otimista. ....	85

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da Pegada de Carbono do Porto de Fortaleza em 2023. ....	14
Tabela 2 - Emissões de navios em diferentes fases. ....	15
Tabela 3 - Emissões totais de GEE por tipo de carga do Transporte ferroviário ....	17
Tabela 4 - Localização das instalações fotovoltaicas ....	46
Tabela 5 - Áreas identificadas no terreno da CDC ....	47
Tabela 6 - Demanda e geração mensais ....	48
Tabela 7 - Estimativa de custos por bloco funcional para sistema de hidrogênio verde. ....	57
Tabela 8 - Papéis de uma autoridade portuária na compensação de emissões.....	59
Tabela 9 – Lista de ações para a CDC.....	61
Tabela 10 - Dados dos navios de granéis líquidos que atracaram nos berços 201 e 202 no ano de 2023.....	62
Tabela 11 - Dados dos navios de granéis líquidos que atracaram nos berços 105 e 106 no ano de 2023.....	64
Tabela 12 – Lista de ações para navios. ....	65
Tabela 13 – Lista de ações para Rebocadores ....	67
Tabela 14 – Lista de ações para Terminais.....	69
Tabela 15 – Lista de ações para Caminhões ....	70
Tabela 16 – Lista de ações para ferrovias ....	71
Tabela 17 – Lista de Ações de Energias Renováveis. ....	72
Tabela 18 – Medidas de descarbonização propostas para o Porto de Fortaleza e seus respectivos cenários. ....	73
Tabela 19 – Redução de emissões do Porto de Fortaleza por cenário. ....	78
Tabela 20 – Valor Presente Líquido das Medidas – Cenário Conservador ....	81
Tabela 21 – Valor Presente Líquido das Medidas – Cenário Otimista ....	83

## LISTA DE TERMOS

Sigla	Descrição
<b>BaU</b>	Business as Usual
<b>BMS</b>	Battery Management System
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditure
<b>CDC</b>	Companhia Docas do Ceará
<b>CIPP S/A</b>	Complexo Industrial e Portuário do Pecém S/A
<b>CODCOL</b>	Coordenadoria de Compras e Licitações
<b>CODGEP</b>	Coordenadoria de Gestão Portuária
<b>CODINF</b>	Coordenadoria de Infraestrutura Civil
<b>CODJUR</b>	Coordenadoria Jurídica
<b>CODMAN</b>	Coordenadoria de Manutenção Elétrica e Mecânica
<b>CODSMS</b>	Coordenadoria de Segurança Meio Ambiente e Saúde
<b>DAV</b>	Data Access Viewer
<b>FTL</b>	Ferrovia Transnordestina Logística
<b>GABPRE</b>	Chefe de Gabinete
<b>GdO</b>	Garantia de Origem
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>GHI</b>	Global Horizontal Irradiance
<b>GLP</b>	Gás Liquefeito de Petróleo
<b>GNC</b>	Gás Natural Comprimido
<b>GNL</b>	Gás Natural Liquefeito
<b>GNR</b>	Gás Natural Renovável
<b>GNV</b>	Gás Natural Veicular
<b>HRS</b>	Hydrogen Refuelling Station
<b>HSP</b>	Horas Solares de Pico
<b>HVAC</b>	Heating, ventilation, and air conditioning
<b>HVSC</b>	High Voltage Shore Connection
<b>HVO</b>	Hydrotreated Vegetable Oil
<b>IBTS</b>	Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável
<b>LCOH</b>	Levelized Cost of Hydrogen
<b>MACC</b>	Marginal Abatement Cost Curve
<b>MHC</b>	Mobile Harbor Cranes
<b>MPOR</b>	Ministério de Portos e Aeroportos
<b>MP</b>	Matéria Particulada

<b>Sigla</b>	<b>Descrição</b>
<b>MR</b>	Milhões de reais
<b>MRV</b>	Medição, Relato e Verificação
<b>MUC</b>	Mucuripe
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Agency
<b>OMI</b>	Organização Marítima Internacional
<b>OPS</b>	Onshore power supply
<b>PDZ</b>	Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário
<b>PEM</b>	Polymer Electrolyte Membrane
<b>PERC</b>	Passivated Emitter and Rear Cell
<b>PLVB</b>	Programa Logística Verde Brasil
<b>RTG</b>	Rubber Tyred Gantry
<b>SCC</b>	Social Cost of Carbon
<b>STC</b>	Standard Test Conditions
<b>TEU</b>	Twenty-foot Equivalent Unit
<b>USD</b>	United States Dollars
<b>VPL</b>	Valor Presente Líquido

## RESUMO EXECUTIVO

Este documento apresenta o Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza, uma estratégia estruturada para reduzir progressivamente as emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas às suas atividades. O plano está inserido no contexto dos compromissos globais de enfrentamento das mudanças climáticas e está alinhado às principais iniciativas internacionais, propondo ações concretas para conduzir o Porto de Fortaleza rumo à descarbonização até 2050.

O Plano de Descarbonização tem como base o cálculo da pegada de carbono do Porto de Fortaleza para o ano-base de 2023. Para sua elaboração, foi analisado o contexto atual e futuro do porto, considerando características operacionais, projeções de expansão e tendências da transição energética no setor portuário. A metodologia adotada combina rigor técnico com um processo participativo, desenvolvido em colaboração direta com a CDC. O plano foi construído a partir de análises quantitativas que estimam o impacto de diversas medidas de mitigação, apoiadas por modelos específicos e por dados de tráfego portuário atuais e projetados.

Essas informações, juntamente com a definição do ano-meta do plano e a estimativa de preço do carbono, permitiram a construção de cenários futuros para o Porto de Fortaleza, orientando a tomada de decisão em direção a uma transição energética realista e eficaz.

O Plano estabelece metas de descarbonização com base no perfil atual e projetado de emissões e apresenta uma análise detalhada das tecnologias disponíveis para os diferentes modos e atores do ecossistema portuário: autoridade portuária, navios, rebocadores, terminais, caminhões e ferrovias, além de soluções energéticas como geração fotovoltaica, eólica e hidrogênio renovável. A partir dessa base, propõe-se um plano de ação estruturado, com medidas específicas para cada ator envolvido, incluindo o potencial de redução de emissões e o custo estimado de implementação.

São analisados dois cenários de implementação: conservador e otimista, que permitem avaliar diferentes trajetórias de descarbonização de acordo com o grau de adoção das medidas propostas. A comparação entre os cenários demonstra que é possível alcançar reduções significativas das emissões, chegando a aproximadamente 10 kt ou mesmo 7 kt de CO<sub>2</sub>eq em 2050, dependendo do nível de ambição adotado.

Por fim, o documento apresenta estimativas dos custos associados à compensação das emissões residuais que não possam ser eliminadas, tendo em vista as atividades portuárias, bem como uma análise econômica geral do plano.

# 1. Introdução

A mudança climática é um dos principais desafios do século XXI. De acordo com os registros climáticos, cada uma das últimas quatro décadas foi progressivamente mais quente do que qualquer década anterior desde 1850. O aquecimento global causado pela atividade humana é inegável, e cada tonelada de emissões de GEE contribui para esse fenômeno, provocando mudanças rápidas e generalizadas na atmosfera, oceanos, criosfera e biosfera.

Em escala global, os esforços pela descarbonização têm se intensificado em resposta à crescente urgência de mitigar os impactos da mudança climática. Acordos internacionais, como o Acordo de Paris, estabeleceram metas claras para atingir o pico global de emissões de GEE o mais breve possível, com reduções rápidas baseadas nas melhores evidências científicas disponíveis. No Brasil as políticas de mudança climática têm incentivado a transição para fontes energéticas renováveis, a eletrificação de setores estratégicos e a descarbonização da logística e dos transportes. Em particular, o país busca fortalecer iniciativas nos portos, promovendo práticas mais sustentáveis para reduzir as emissões associadas às operações marítimas e terrestres.

Os portos são infraestruturas essenciais para o comércio global, viabilizando o transporte de mercadorias. No entanto, suas atividades também geram uma quantidade significativa de emissões de GEE. As operações de carga e descarga, o transporte terrestre, a navegação e o uso de equipamentos e maquinários no ambiente portuário, juntamente com a própria infraestrutura e a crescente demanda por serviços logísticos, ainda dependem fortemente de combustíveis fósseis, contribuindo de forma relevante para a mudança do clima e elevando a pegada de carbono do setor.

Nesse contexto, calcular a pegada de carbono de um porto é o primeiro passo para identificar e quantificar as fontes de emissões de GEE associadas às suas operações. Esse levantamento permite que a autoridade portuária compreenda o alcance de seu impacto ambiental e estabeleça estratégias específicas para reduzi-lo. Com base nessas informações, a implementação de planos de descarbonização torna-se uma ferramenta fundamental para promover a transição para um modelo operacional mais sustentável.

Ao reduzir as emissões de GEE e otimizar o uso dos recursos, os portos contribuem efetivamente para o enfrentamento da crise climática, ao mesmo tempo em que aumentam sua eficiência operacional e competitividade no mercado global.

Este relatório parte do cálculo da pegada de carbono do Porto de Fortaleza, realizado com ano base de 2023, e define um plano de descarbonização com o objetivo de promover uma transição para operações mais sustentáveis, alinhadas aos compromissos globais de redução de emissões e à melhoria da eficiência operacional e energética portuária.

## 2. Contexto do Porto de Fortaleza

### 2.1. Localização e características gerais

---

O Porto de Fortaleza localiza-se na Enseada do Mucuripe, na capital do Estado do Ceará, em uma posição geográfica estratégica no Atlântico Sul (Latitude 03° 42' 27,8'' S e Longitude 038° 28' 30'' W). Sua localização privilegiada na costa leste brasileira favorece as conexões com portos da Europa, América do Norte e Caribe, além de proporcionar proximidade com o Canal do Panamá, o que o consolida como um importante ponto de integração logística para o comércio exterior brasileiro.

Administrado pela Companhia Docas do Ceará (CDC), empresa pública vinculada ao Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR), o porto tem como missão promover o desenvolvimento e a gestão eficiente da infraestrutura portuária, atuando como indutor do comércio exterior e do desenvolvimento econômico regional, com foco em responsabilidade socioambiental e sustentabilidade operacional. Além de atuar também como autoridade portuária investida de competências legais para regular, fiscalizar e planejar as operações do Porto Organizado de Fortaleza.

A infraestrutura portuária é composta por berços especializados para movimentação de granéis líquidos, sólidos e carga geral, além de áreas destinadas à operação de contêineres e produtos siderúrgicos. A CDC mantém ainda acessos rodoviários e marítimos integrados ao sistema logístico estadual, favorecendo a interligação com os principais polos produtivos do Nordeste.

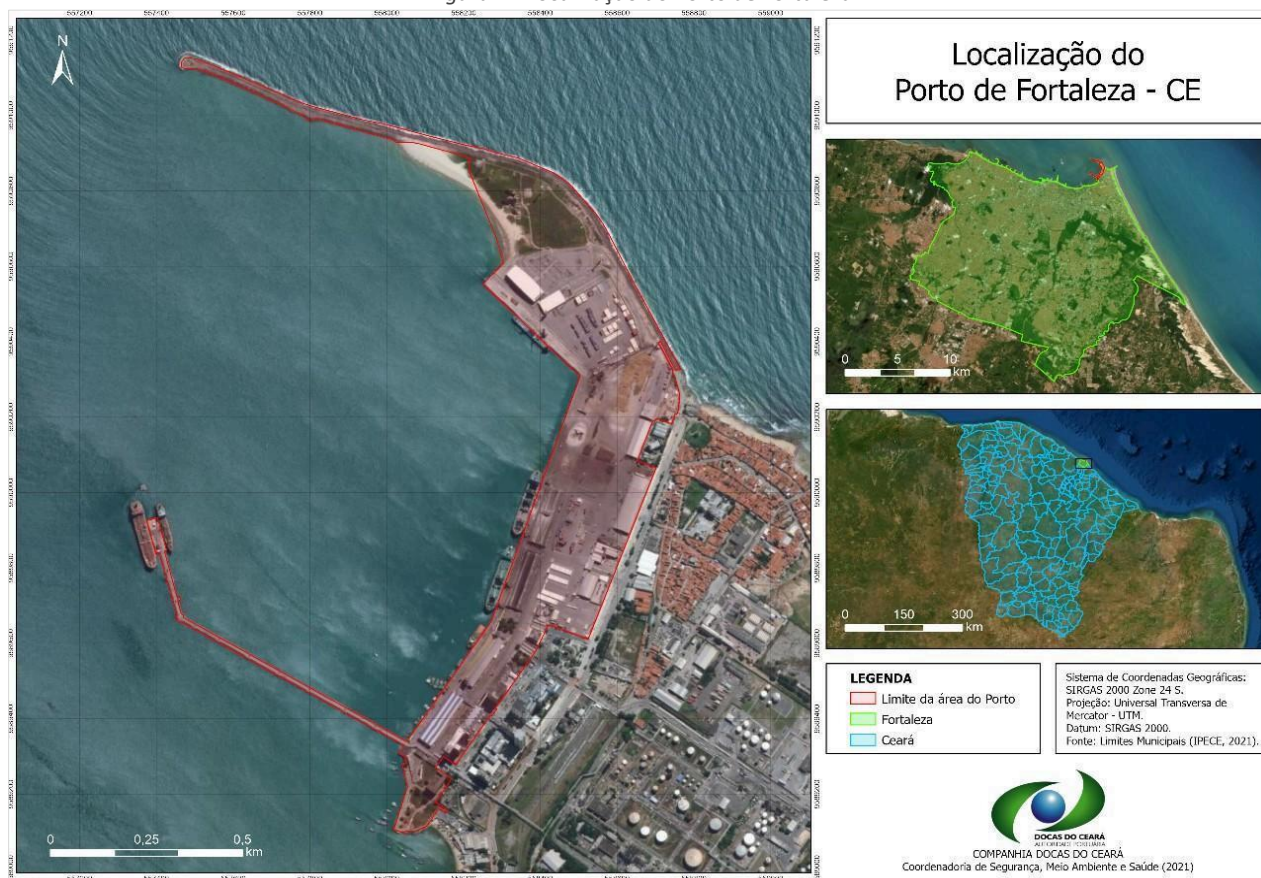
### 2.2. Principais Tipos de Carga Movimentada

---

- Granel líquido: gasolina, diesel, GLP, lubrificantes, óleo de palma, petróleo bruto, etanol.
- Granel sólido vegetal: trigo.
- Granel sólido mineral: escória, clínquer, coque de petróleo e minério de manganês.
- Carga geral: Contêineres.

Essas características operacionais reforçam o papel estratégico do Porto de Fortaleza como hub regional de importação e exportação, contribuindo para o fortalecimento da economia local e nacional.

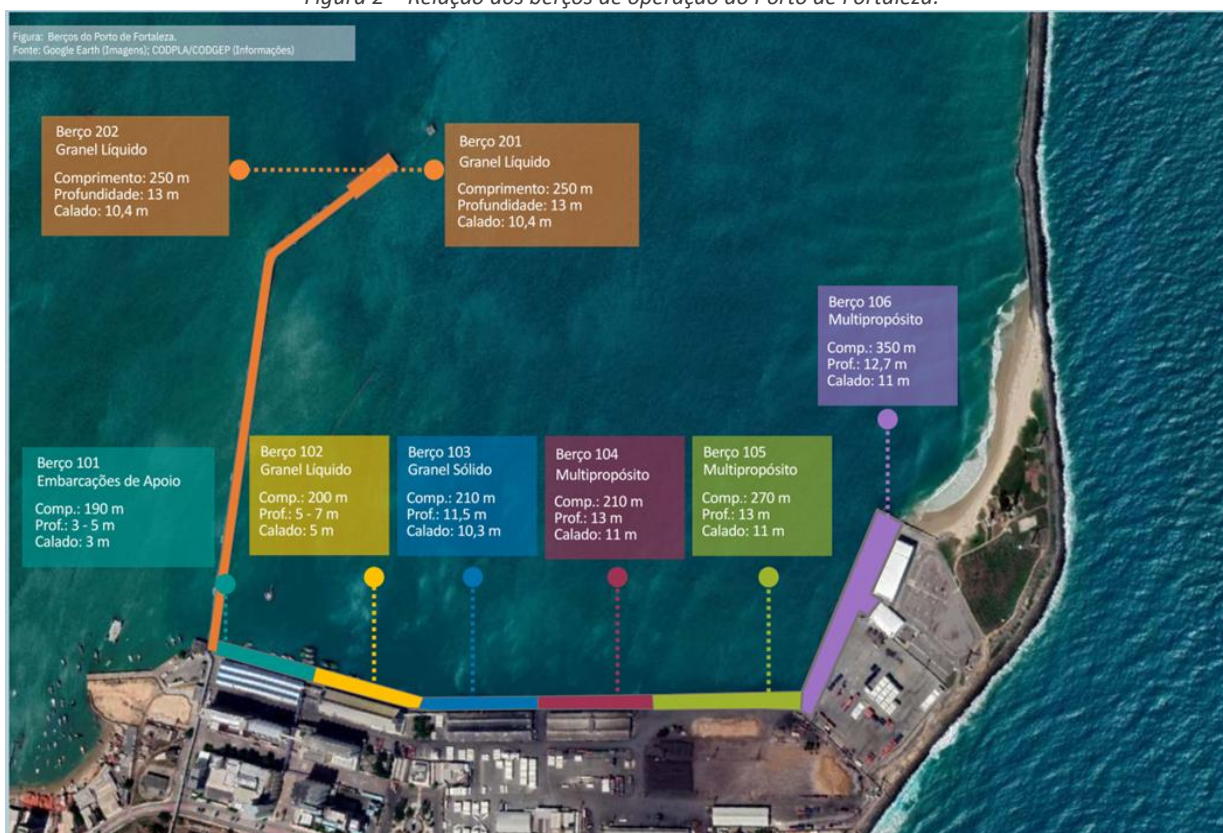
Figura 1 - Localização do Porto de Fortaleza.



Fonte: Companhia Docas do Ceará, (CDC)

- **Infraestrutura de Acostagem:**
  - Berço Comercial com 06 berços operacionais e extensão total de 1.430 m;
  - Píer Petroleiro com 02 berços com plataforma de 250 m de extensão, cada.
- **Infraestrutura de Armazenagem:**
  - 190.000 m<sup>2</sup> de Pátio para Carga Geral e Granel Sólido Mineral;
  - 02 Armazéns para Granéis Sólidos Agrícolas;
  - 05 Armazéns para Granel Sólido Mineral e Carga Geral;
  - 30 silos com capacidade estática de 73.000 t de trigo.

Figura 2 - Relação dos berços de operação do Porto de Fortaleza.



Fonte: Companhia Docas do Ceará (CDC).

## 1. Acessos e Conectividade

Figura 3 - Acessos do Porto de Fortaleza

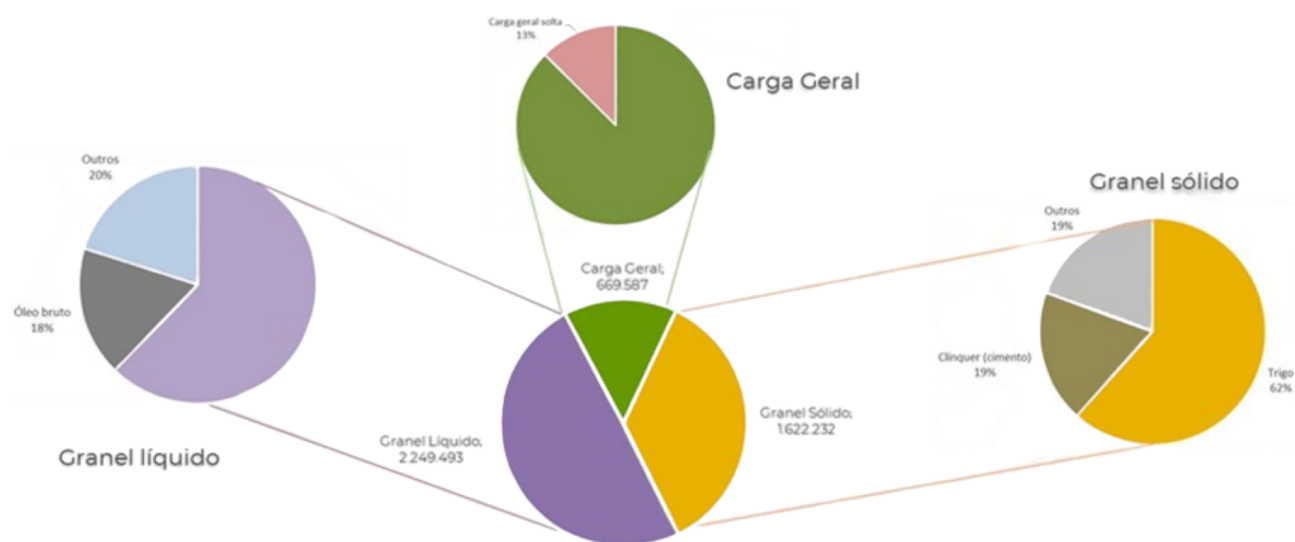


Fonte: Companhia Docas do Ceará (CDC).

Em 2023, foram movimentadas no porto cerca de 4,54 milhões de toneladas, sendo o principal tipo de carga o granel líquido (49,6%), seguido pelo granel sólido (35,7%) e pela carga geral (14,7%). A principal mercadoria de granel

líquido é composta por petróleo e derivados (excluindo óleo bruto, 62%) e óleo bruto (19%). O tráfego de granel sólido é dominado por trigo (62%) e clínquer (19%). Cerca de 87% da carga geral corresponde a contêineres.

Figura 4 - Distribuição do volume de cargas movimentadas no Porto de Fortaleza em 2023, por tipo e produto.



Fonte: Fundación Valenciaport.

### 2.3. Situação atual

A pegada de carbono do Porto de Fortaleza em 2023 foi de 53 ktCO<sub>2</sub>, das quais 38 ktCO<sub>2</sub> são atribuídas à atividade portuária propriamente dita, incluindo a permanência dos navios atracados (em berço), enquanto 15 ktCO<sub>2</sub> correspondem exclusivamente às operações de fundeio, navegação e manobra das embarcações. Em termos relativos, a atividade portuária de Fortaleza emitiu 12,33 kgCO<sub>2</sub> por tonelada de carga movimentada.

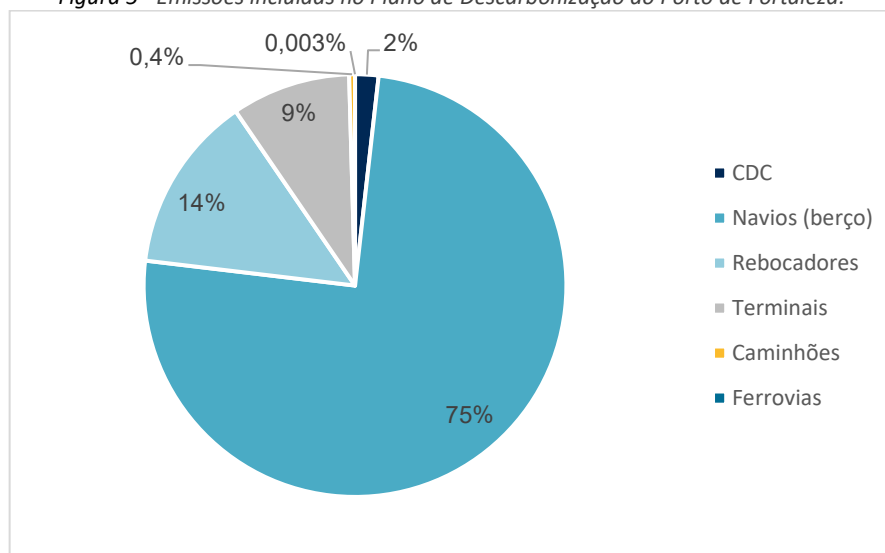
Tabela 1 – Resultados da Pegada de Carbono do Porto de Fortaleza em 2023.

Escopo	Área	Emissões (tCO <sub>2eq</sub> )
Escopo 1	Fontes fixas	1,32
	Fontes móveis	10,22
	Gases refrigerantes	333,75
	Extintores	0,49
	<b>TOTAL</b>	345,79
Escopo 2	Eletricidade nas instalações APPA	339,68
	<b>TOTAL</b>	339,68
Escopo 3	Navios (navegação + manobra)	3.352,82
	Navios (fundeio)	11.509,77
	Navios (berço)	28.769,69
	Rebocadores	5.194,75
	Terminais	3.488,04
	Caminhões	169,94
	Ferrovias	1,01
	<b>TOTAL</b>	52.486,01
<b>TOTAL DO PORTO</b>		<b>53.171,47</b>

Escopo	Área	Emissões (tCO <sub>2</sub> eq)
<b>TOTAL DO PORTO (NAVIOS APENAS BERÇO)</b>		<b>38.308,89</b>

Fonte: Fundación Valenciaport.

Figura 5 - Emissões incluídas no Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza.



Fonte: Fundación Valenciaport

A maior parte das emissões de GEE relacionadas aos navios ocorre na fase operacional de berço/atracação, sendo esta a principal fonte de emissões, com 28.769,685 tCO<sub>2</sub>eq, o que equivale a aproximadamente 65,9% do total das emissões das embarcações. Isso sugere que o consumo de energia auxiliar e as operações de carga e descarga no porto são os maiores contribuintes para as emissões. A fase de fundeio é a segunda mais emissora, com 11.509,77 tCO<sub>2</sub>eq, cerca de 26,4% do total. A fase de manobra apresenta o menor impacto nas emissões gerais, com 3.352,82 tCO<sub>2</sub>eq, representando 7,7% do total. As emissões totais das embarcações correspondem a um total de 43.632,27 tCO<sub>2</sub>eq.

Tabela 2 - Emissões de navios em diferentes fases.

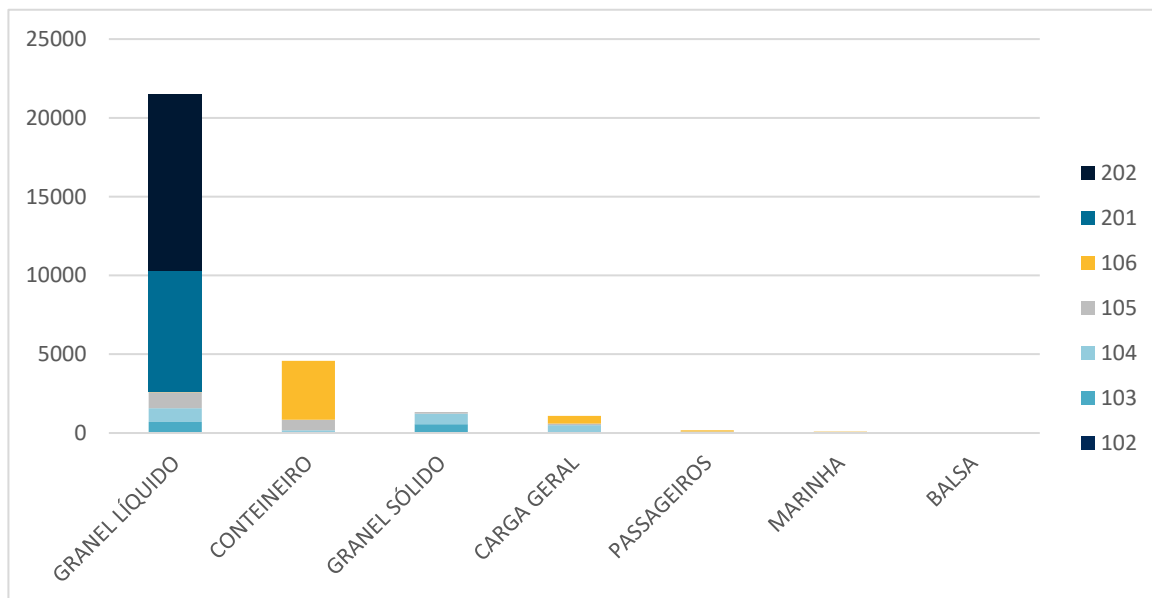
Tipo de Navio	Emissões CO <sub>2</sub> eq fundeio (t)	Emissões CO <sub>2</sub> eq Berço (t)	Emissões CO <sub>2</sub> eq manobra (t)	Emissões CO <sub>2</sub> eq Total (t)
GRANEL LÍQUIDO	9.619,331	21.476,782	1.921,998	33.018,111
CONTEINEIRO	1.133,791	4.588,628	859,094	6.581,514
GRANEL SÓLIDO	437,957	1.326,382	332,235	2.096,574
CARGA GERAL	311,253	1.090,226	159,206	1.560,685
PASSAGEIROS	6,743	170,523	69,229	246,496
MARINHA	0,639	96,106	10,691	107,436
BALSA	0,051	21,037	0,363	21,451
<b>Total geral</b>	<b>11.509,766</b>	<b>28.769,685</b>	<b>3.352,816</b>	<b>43.632,268</b>

Fonte: Fundación Valenciaport

Graneis líquidos, que lideram em número de escalas, causam a maior parte das emissões. Os berços 201 e 202 são os maiores emissores devido ao tráfego de graneis líquidos. É o maior emissor em todas as fases, mas sua contribuição é particularmente alta na fase de berço, com 21.476,78 tCO<sub>2</sub>eq, sendo o principal foco

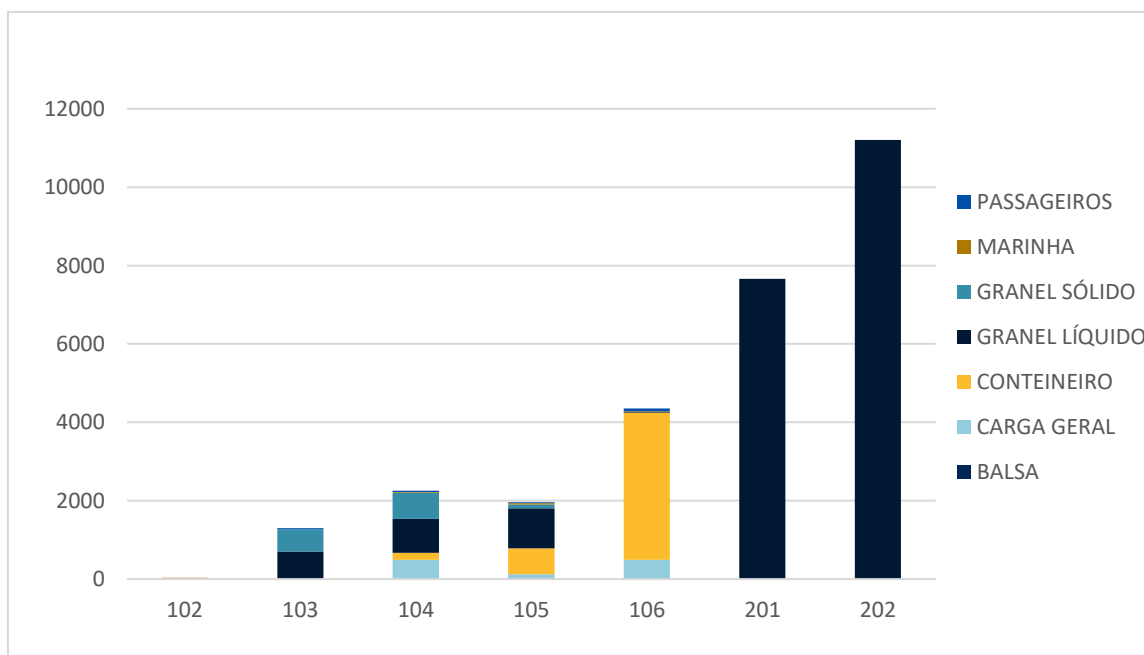
para a redução geral das emissões. Granel líquido, contêineres e granel sólido lideram o ranking de emissões na fase operacional de berço/atracação.

Figura 6 - Emissões por tipo de embarcação e de acordo com o cais de atracação.



Fonte: Fundación Valenciaport

Figura 7 - Emissões em berço, por cais e de acordo com o tipo de embarcação.

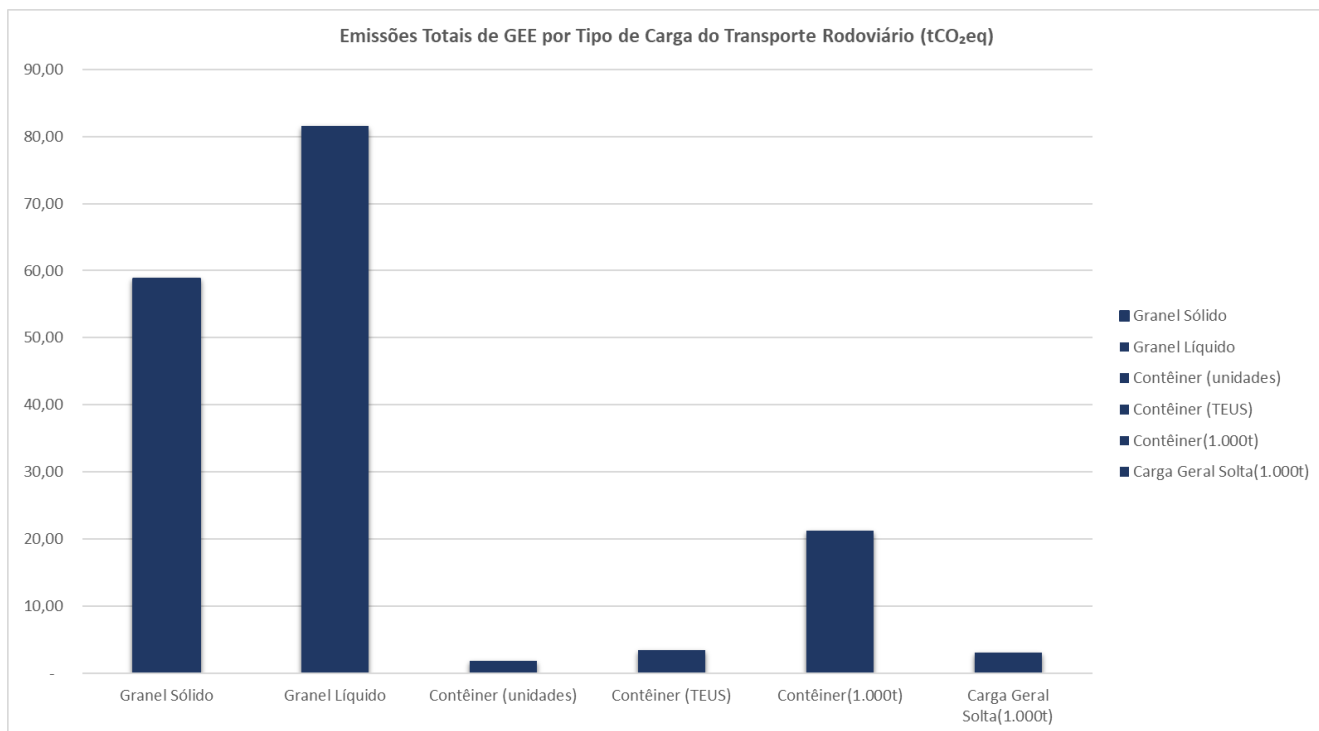


Fonte: Fundación Valenciaport

As operações de entrada e saída de mercadorias por via terrestre no Porto de Fortaleza são realizadas predominantemente por transporte rodoviário, com participação complementar do modal ferroviário. O modo de transporte rodoviário apresenta maior representatividade, sendo responsável pelo deslocamento das principais tipologias de carga movimentadas no porto. Entre os caminhões, observa-se predominância do granel líquido (48%),

seguido pelo granel sólido (35%), além de volumes menores de contêineres e carga geral solta. Essa distribuição reflete a natureza da matriz de cargas do Porto de Fortaleza, fortemente associada às operações de combustíveis e derivados, bem como à movimentação de grãos e insumos industriais.

Figura 8 - Emissões totais de GEE por tipo de carga do Transporte rodoviário



Fonte: Fundación Valenciaport

As emissões totais de GEE do transporte rodoviário variam conforme o tipo de carga e o perfil operacional dos fluxos logísticos. O granel líquido é responsável pela maior parcela das emissões, seguido pelo granel sólido e pelas operações de contêineres, evidenciando a influência do volume transportado e das distâncias médias percorridas.

Tabela 3 - Emissões totais de GEE por tipo de carga do Transporte ferroviário

Operador	Tipo de Carga	tCO <sub>2</sub>	tCH <sub>4</sub>	t N <sub>2</sub> O	tCO <sub>2</sub> eq
FTL	Coque	1,00194	0,00007	0,00001	1,00202

Fonte: Fundación Valenciaport.

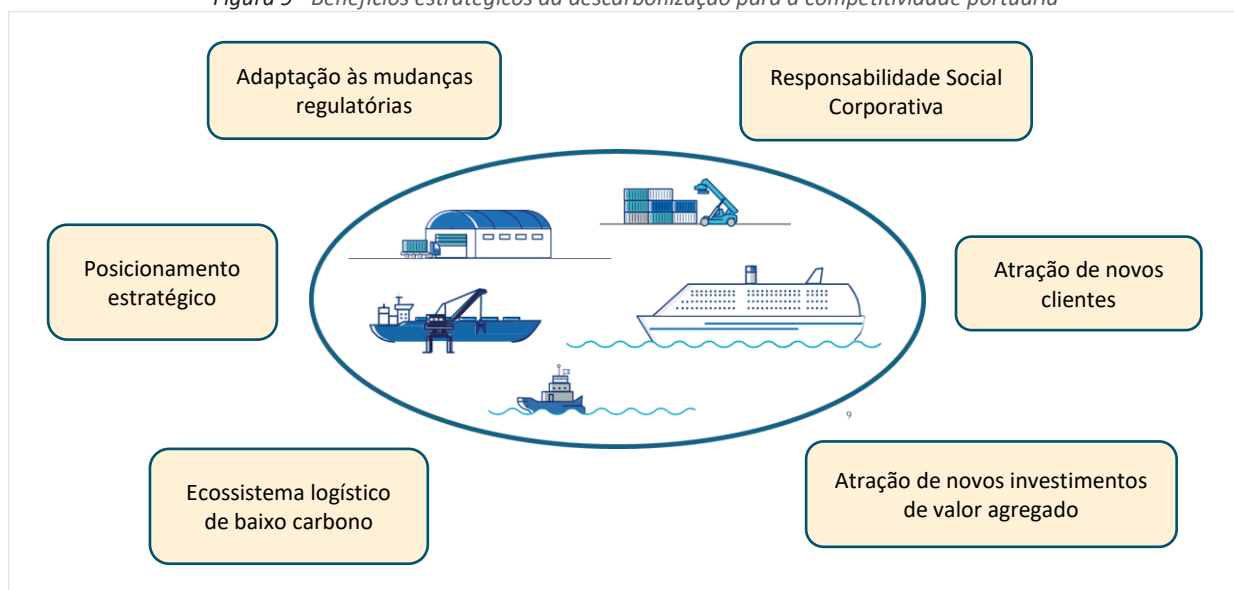
No modal ferroviário, as operações são realizadas exclusivamente pela Ferrovia Transnordestina Logística (FTL), que movimenta coque como produto único. Em 2023, as emissões associadas a essa operação foram de aproximadamente 1 tCO<sub>2</sub>eq, provenientes principalmente da queima de combustíveis fósseis nas locomotivas.

## 2.4. Motivações

Embora os resultados do processo de descarbonização de um porto tenham um impacto positivo na sociedade e, portanto, estejam alinhados com a estratégia de responsabilidade social corporativa da autoridade portuária, os principais benefícios são a prontidão e o posicionamento e, portanto, estão diretamente relacionados à competitividade do porto em escala global.

A implementação de práticas de baixo carbono fortalece a capacidade do porto de atender às exigências regulatórias internacionais, amplia seu acesso a mercados mais exigentes e o torna mais atrativo para novos clientes e investidores comprometidos com critérios de sustentabilidade. Além disso, consolida o papel estratégico do porto como plataforma logística de referência em excelência ambiental, integrando inovação tecnológica, eficiência operacional e responsabilidade socioambiental como diferenciais competitivos.

Figura 9 - Benefícios estratégicos da descarbonização para a competitividade portuária



Fonte: Fundación Valenciaport

- **Adaptação às mudanças regulatórias:** antecipação às exigências ambientais internacionais, redução de riscos de não conformidade e penalidades, maior previsibilidade operacional diante de novas normas climáticas, alinhamento com políticas nacionais de transição energética.
- **Responsabilidade Social Corporativa:** fortalecimento da imagem institucional como porto sustentável, melhoria no relacionamento com comunidades e stakeholders, contribuição para metas de redução de emissões, aumento da confiança de governos, investidores e sociedade.

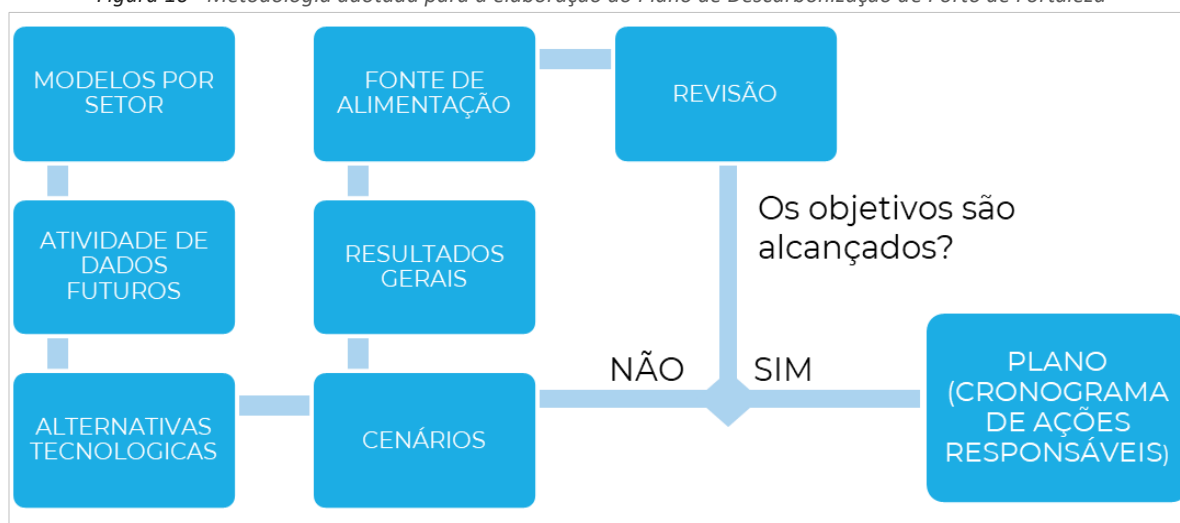
- **Atração de novos clientes:** captação de embarcadores, armadores e operadores com metas ESG rigorosas, diferenciação competitiva em relação a portos menos sustentáveis, possibilidade de atrair rotas verdes e serviços premium, reforço da reputação como porto de baixo carbono.
- **Atração de novos investimentos de valor agregado:** maior interesse de fundos e investidores ESG, estímulo a negócios ligados a energia limpa e combustíveis alternativos, melhores condições de financiamento para infraestrutura sustentável, ampliação de parcerias estratégicas e PPPs.
- **Ecosistema logístico de baixo carbono:** incentivo à adoção de tecnologias limpas por terminais e operadores, redução da pegada ambiental da cadeia logística, integração com modais mais sustentáveis como ferrovia e cabotagem, ganhos operacionais decorrentes da eficiência energética.
- **Posicionamento estratégico:** consolidação do porto como referência em sustentabilidade e inovação, melhoria da atratividade em rankings internacionais, criação de vantagem competitiva duradoura, contribuição para uma visão de longo prazo alinhada às tendências globais do setor portuário.

### 3. Metodologia

A metodologia utilizada para a elaboração do plano de descarbonização baseia-se em uma abordagem técnica e participativa, que combina análises quantitativas com a colaboração direta da CDC. Em primeiro lugar, são desenvolvidos modelos específicos para quantificar o impacto potencial na redução das emissões de CO<sub>2</sub> resultante da implementação de diferentes tecnologias ou outras medidas de mitigação. Esses modelos permitem simular, com base em dados reais e projeções, como cada ação pode contribuir para a descarbonização do porto ao longo do tempo. Para cada medida considerada, também é estimado um orçamento preliminar, o que possibilita avaliar sua viabilidade técnica e econômica. Essas duas ferramentas — estimativa de redução de emissões e custo aproximado — são integradas com previsões de crescimento de tráfego e operam dentro do contexto local do porto, considerando particularidades como os padrões operacionais atuais e as previsões de crescimento. Com isso, é possível construir cenários futuros realistas e consistentes.

A definição final das ações a serem incluídas no plano é realizada de forma colaborativa com a CDC, garantindo alinhamento com as estratégias institucionais, os objetivos de sustentabilidade do porto e as possibilidades reais de implementação.

Figura 10 - Metodologia adotada para a elaboração do Plano de Descarbonização de Porto de Fortaleza

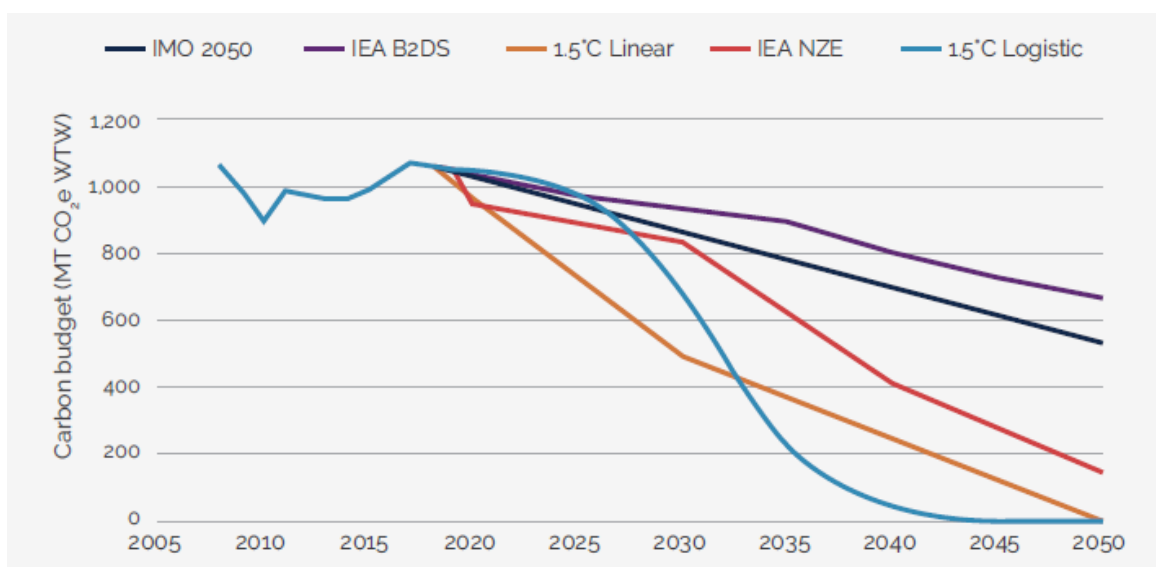


Fonte: Fundación Valenciaport

### 3.1. Metas de Descarbonização

O setor marítimo-portuário avança em direção a metas de descarbonização cada vez mais ambiciosas, impulsionado por iniciativas internacionais, como as da OMI, e pelos diferentes cenários de transição energética. As projeções indicam trajetórias de redução profundas e aceleradas, especialmente nos cenários compatíveis com 1,5 °C, que exigem uma diminuição quase total das emissões antes de 2050. Esse contexto estabelece a direção para a qual o Porto de Fortaleza deve se orientar, alinhando seu planejamento estratégico à tendência global.

Figura 11 - Trajetórias de emissões para o setor marítimo

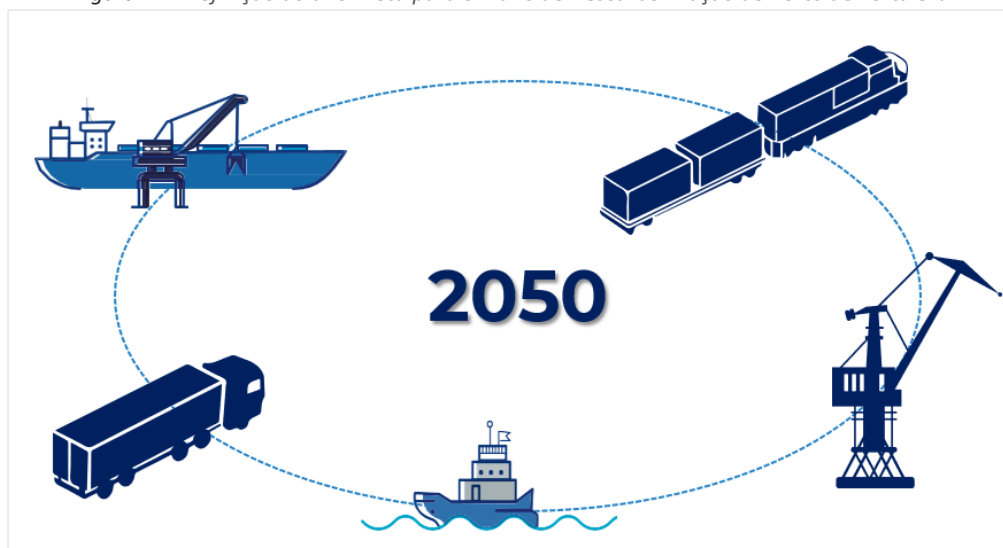


Fonte: Science Based Targets initiative

### 3.2. Ano-Alvo

Considerando que as principais fontes de emissões são as embarcações de carga e serviço, é aconselhável ter um ano-alvo para a descarbonização de acordo com a estratégia da OMI, ou seja, 2050. O escopo da ação inclui o mesmo escopo da pegada média, ou seja: navios atracados, rebocadores, arrendatários, concessionárias e operadores, transporte terrestre por caminhão e ferrovia. No caso dos navios, considera-se apenas a fase de atracação, pois é a única na qual a CDC pode realizar intervenções.

Figura 12 - Definição do ano-meta para o Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza

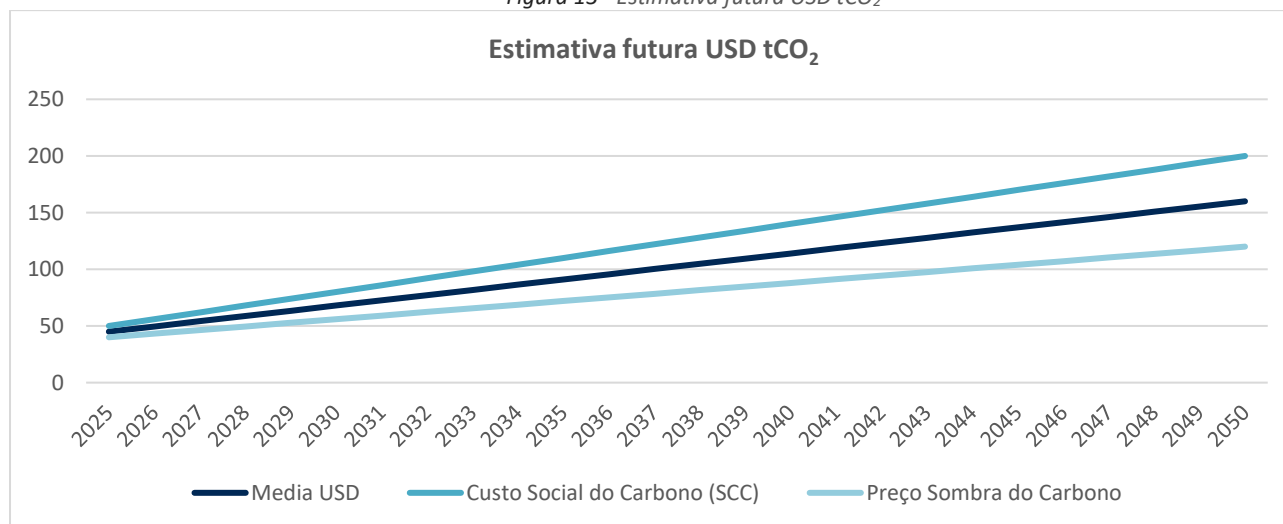


Fonte: Fundación Valenciaport

### 3.3. Preço do carbono

Para as análises de benefício econômico e avaliação do investimento, foi considerado a média entre os valores futuros esperados para o Custo Social do Carbono e o Preço Sombra do Carbono.

Figura 13 - Estimativa futura USD tCO<sub>2</sub>



Fonte: Fundación Valenciaport

#### Custo Social do Carbono (SCC - Social Cost of Carbon)

- Representa o impacto econômico e ambiental real de emitir uma tonelada de CO<sub>2</sub>.

#### Preço Sombra do Carbono (Carbon Shadow Price)

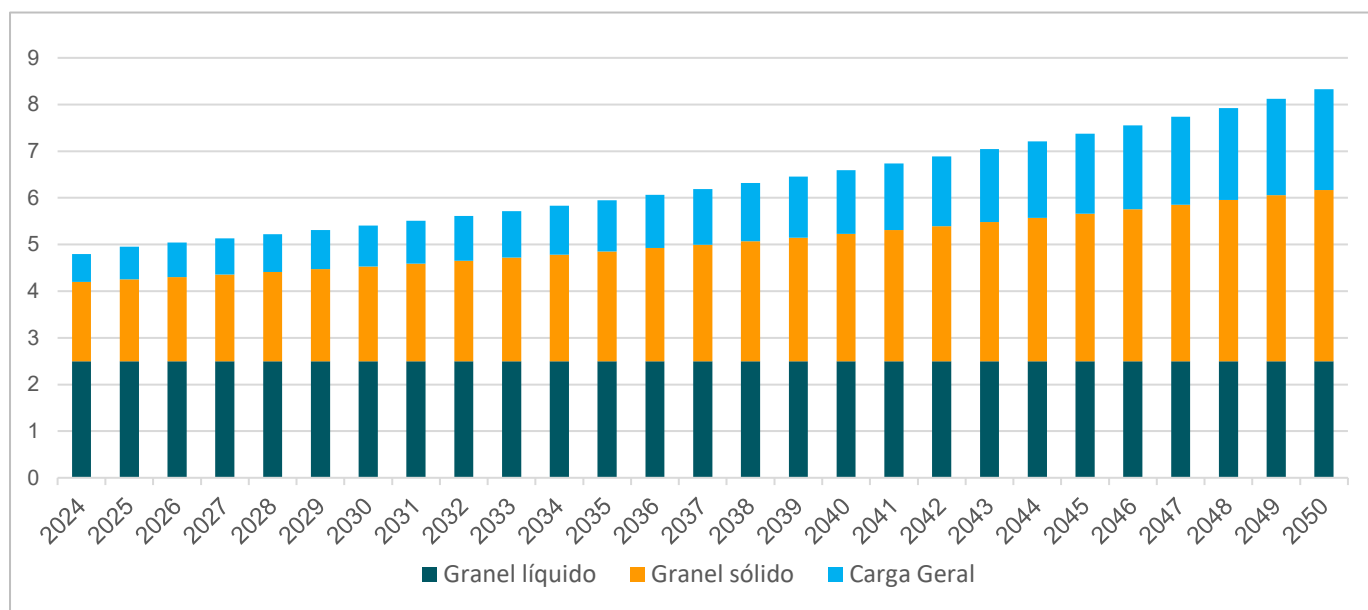
- Utilizado por organismos multilaterais (BID, Banco Mundial, IFC) e grandes empresas para simular cenários regulatórios futuros.

## 4. Situação futura

Para o cálculo das projeções de demanda, foram consultadas diversas fontes de dados, como o “Plano Mestre do Complexo Portuário”, o Planejamento Estratégico 2025-2029, as informações do Estatístico Aquaviário, o “Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de Licitação do Terminal de Contêineres de Fortaleza”. Além disso, foram consideradas as indicações da CDC em relação a cada tipo de tráfego.

O resultado indica que, para o ano de 2050, estima-se que a demanda do Porto de Fortaleza atinja um volume de 8,33 milhões de toneladas. A carga de granel sólido corresponderá ao maior volume movimentado, com 3,67 milhões de toneladas; 2,5 milhões de toneladas corresponderão ao granel líquido; e 2,16 milhões de toneladas à carga geral (sendo 0,1 milhão de toneladas de carga geral solta e 2,06 milhões em contêineres, equivalentes a 362.000 TEUs).

Figura 14 - Previsões de carga (milhões toneladas) no Porto de Fortaleza

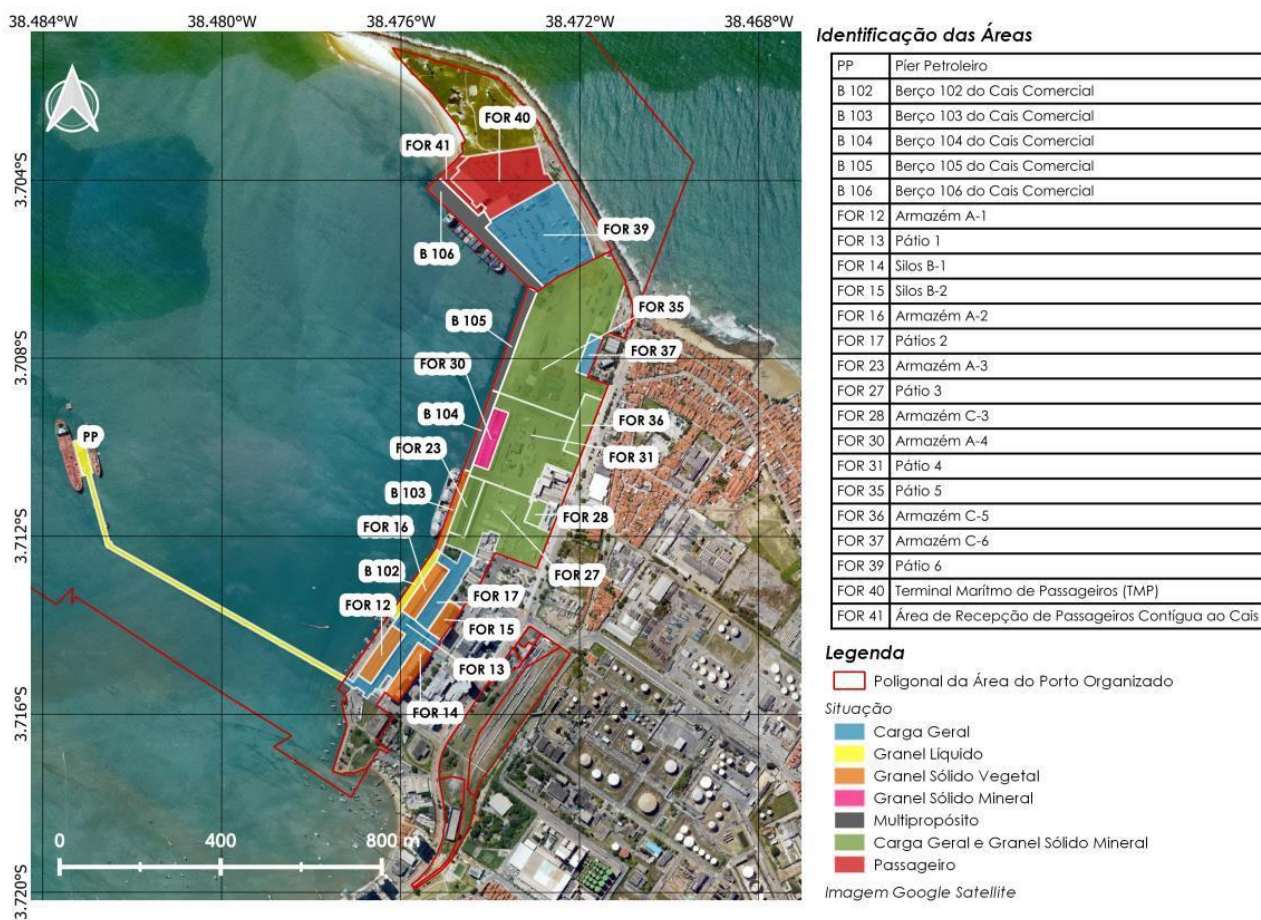


Fonte: Fundación Valenciaport

O Plano de Desenvolvimento e Zoneamento (PDZ) do Porto de Fortaleza prevê ampliação das áreas arrendadas e novas oportunidades comerciais, destacando-se a licitação da área MUC 05, com 35 mil m<sup>2</sup> destinados à construção de um armazém de 10 mil m<sup>2</sup>. A CDC planeja modernizar a infraestrutura portuária e estuda novas concessões, incluindo a criação de uma área de apoio logístico externa de 3 hectares para melhorar o fluxo e a eficiência das operações.

A análise comparativa entre o zoneamento atual e o cenário futuro evidencia um processo de modernização e diversificação das atividades, com destaque para a ampliação das áreas arrendadas, a requalificação de pátios e armazéns e a criação de novas zonas operacionais voltadas à logística de combustíveis e grânéis.

Figura 15 - Situação atual das áreas do Porto de Fortaleza



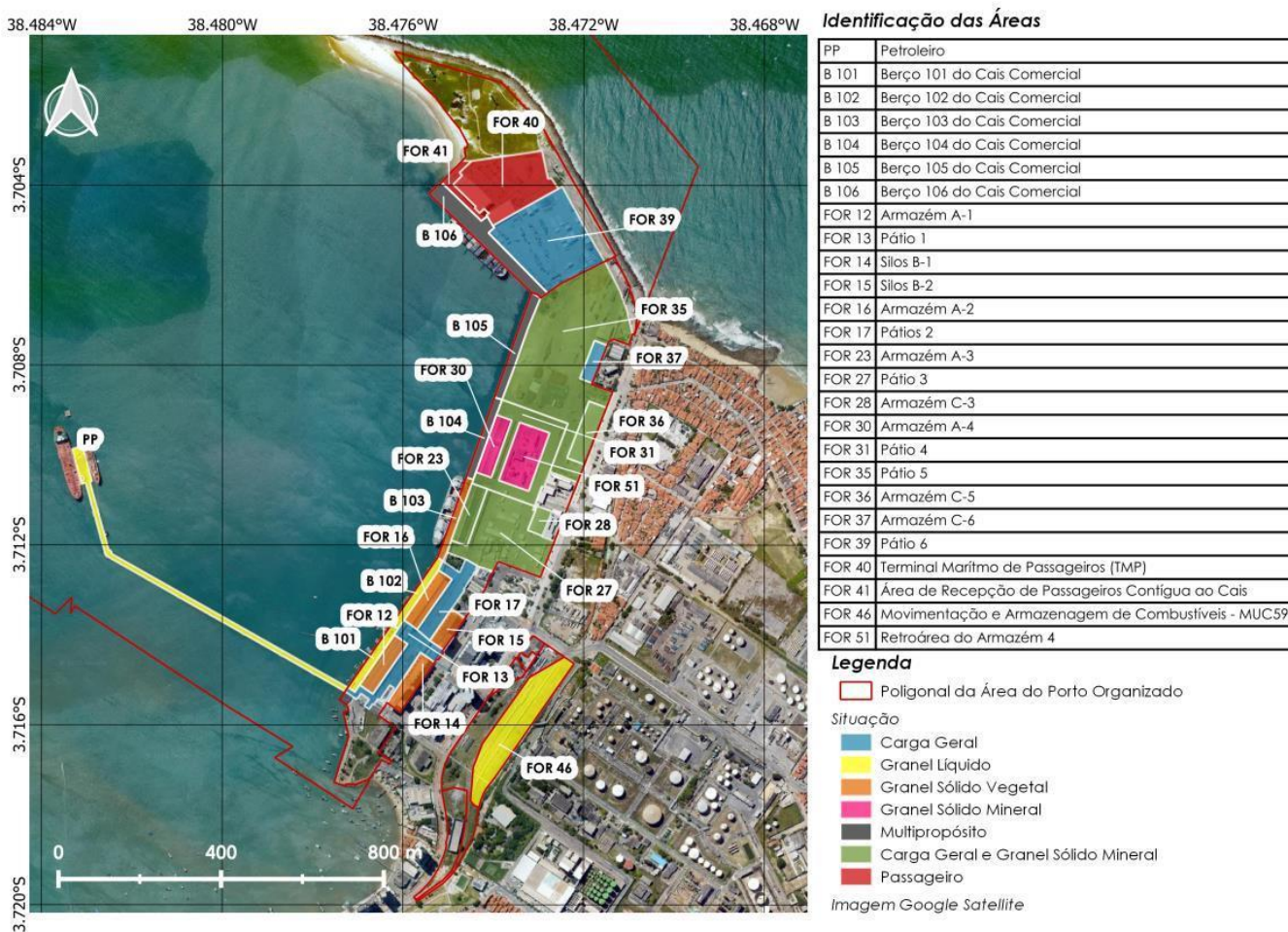
Fonte: Companhia Docas do Ceará (CDC)

Além das operações atualmente em vigor, destaca-se a previsão de novos arrendamentos que compõem o cenário futuro do Porto de Fortaleza. Em caráter provisório, encontra-se vigente o Contrato de Transição que permite a exploração das áreas FOR 39, FOR 35B e FOR 27B voltado à operação de terminal especializado em contêineres e carga geral.

No contexto de expansão e reordenamento portuário, estão previstos arrendamentos definitivos para três grandes frentes operacionais: (i) um terminal especializado em contêineres e carga geral, abrangendo as áreas FOR 35, FOR 36, FOR 37, FOR 39, B 105 e B 106; (ii) um terminal dedicado à movimentação e armazenagem de grânéis sólidos minerais, nas áreas FOR 30 e FOR 51; e (iii) um terminal voltado à movimentação de grânéis sólidos minerais e carga geral, nas áreas FOR 23, FOR 27 e FOR 28. Essas iniciativas fazem parte da estratégia de modernização e ampliação

da capacidade portuária prevista nos instrumentos de planejamento da autoridade portuária, contribuindo para o aumento da eficiência logística e para o fortalecimento da vocação multipropósito do porto.

Figura 16 - Situação futura das áreas do Porto de Fortaleza



Fonte: Companhia Docas do Ceará (CDC)

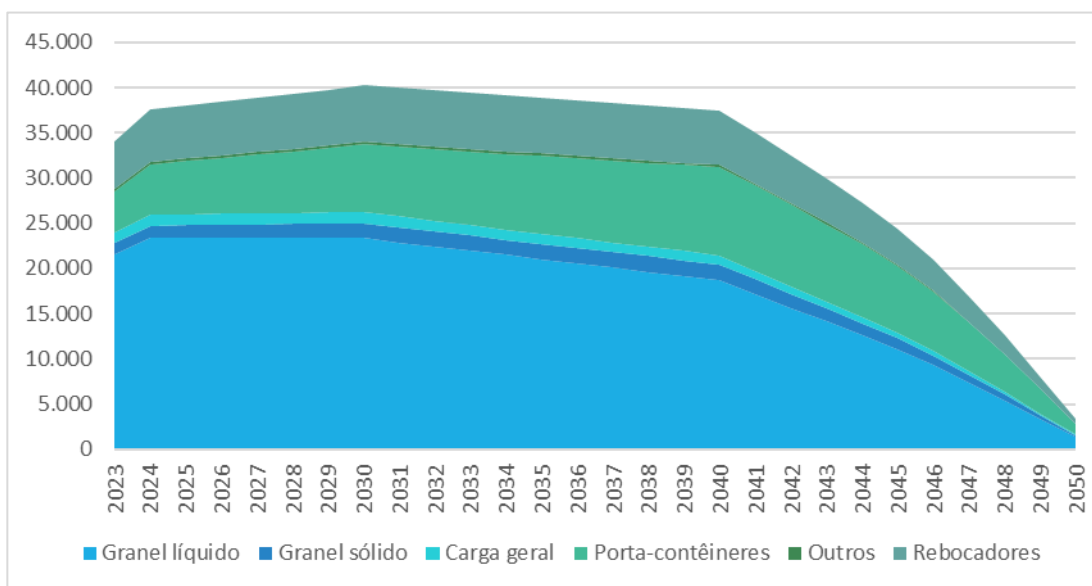
A análise comparativa entre o zoneamento atual e o cenário futuro demonstra um processo contínuo de requalificação e diversificação funcional do porto, evidenciando uma transição para um modelo mais integrado, competitivo e sustentável. As principais transformações incluem a reorganização de pátios e armazéns, a incorporação de áreas subutilizadas às operações portuárias e a criação de novas zonas dedicadas à logística de combustíveis, granéis sólidos e líquidos, reforçando o papel do Porto de Fortaleza como hub regional de energia e insumos estratégicos.

Essas mudanças estruturais previstas no PDZ alinham-se à estratégia de descarbonização e transição energética, pois possibilitam o uso mais eficiente do território portuário, favorecem a instalação de tecnologias de baixo carbono, e ampliam o potencial para integração de fontes renováveis de energia (como solar e eólica) nas futuras áreas operacionais.

#### 4.1. Projeção de navios e rebocadores

No período de 2023 a 2050, no cenário sem a implementação das ações de descarbonização da CDC, são previstas duas tendências na evolução das emissões de navios e rebocadores. Até o ano de 2040, projeta-se um ligeiro aumento anual das emissões, associado ao crescimento progressivo da atividade portuária e ao aumento do número de escalas de embarcações. No entanto, parte desse aumento deverá ser compensada pela adoção gradual de medidas de descarbonização no setor marítimo em escala global. A partir de 2040, espera-se uma redução significativa das emissões, impulsionada pelo alinhamento do setor marítimo à estratégia de descarbonização da Organização Marítima Internacional (OMI). Para o ano de 2050, as emissões combinadas dessas duas fontes deverão atingir 3,5 ktCO<sub>2</sub>eq.

Figura 17 - Projeções anuais de emissões de GEE de navios atracados e rebocadores até 2050



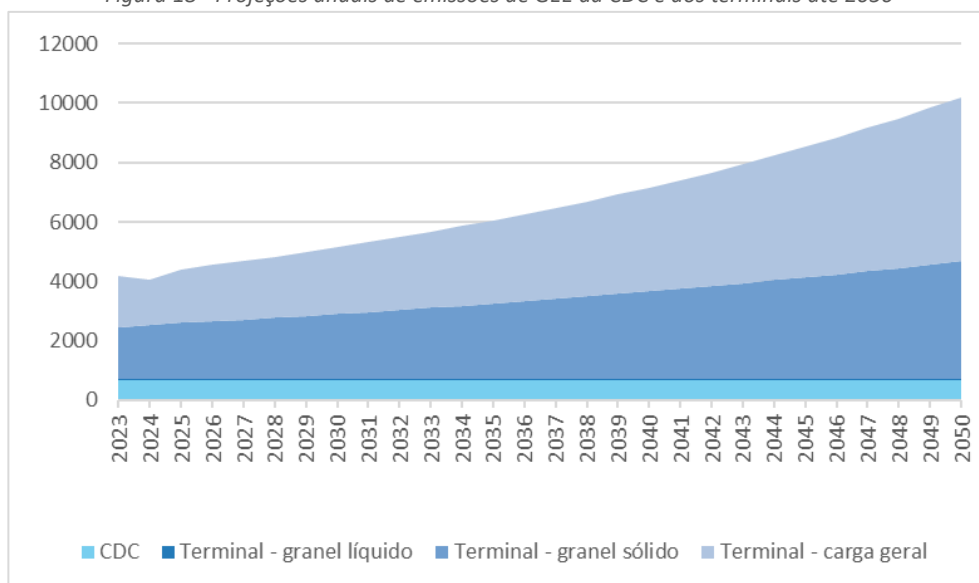
Fonte: Fundación Valenciaport

#### 4.2. Projeção da CDC e Terminais

Com o resultado das previsões de tráfego, podem ser calculadas as projeções de emissões de GEE associadas à atividade dos operadores e terminais. Para o cálculo das projeções de emissões, no período compreendido entre 2023 e 2050, no que diz respeito aos terminais, assume-se que, sem mudanças tecnológicas, as emissões por tonelada (unidade de carga) movimentada permanecem constantes.

Quanto às emissões atribuídas à CDC, estima-se que as emissões totais se manterão constantes. As emissões totais das duas fontes combinadas alcançarão 10 ktCO<sub>2</sub>eq em 2050.

Figura 18 - Projeções anuais de emissões de GEE da CDC e dos terminais até 2050

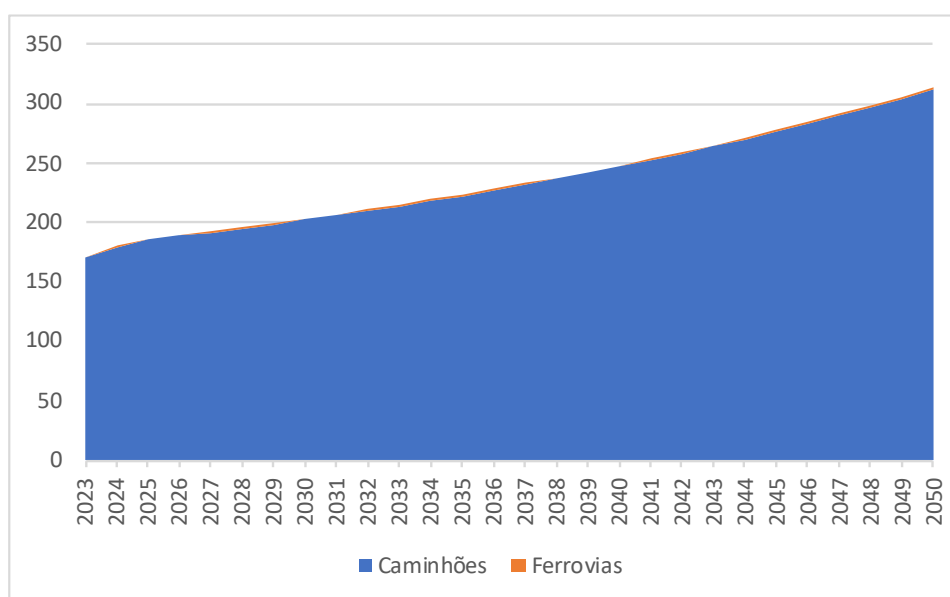


Fonte: Fundación Valenciaport

### 4.3. Projeção de caminhões e ferrovias

Entre 2023 e 2050, no cenário sem medidas de descarbonização, prevê-se que as emissões de caminhões e trens aumentem em 83%, um incremento coerente com o crescimento do tráfego no porto. A distribuição das emissões por modo de transporte mantém-se razoavelmente constante, sendo a maior parte atribuída aos caminhões.

Figura 19 - Projeções anuais de emissões de GEE de caminhões e ferrovias até 2050



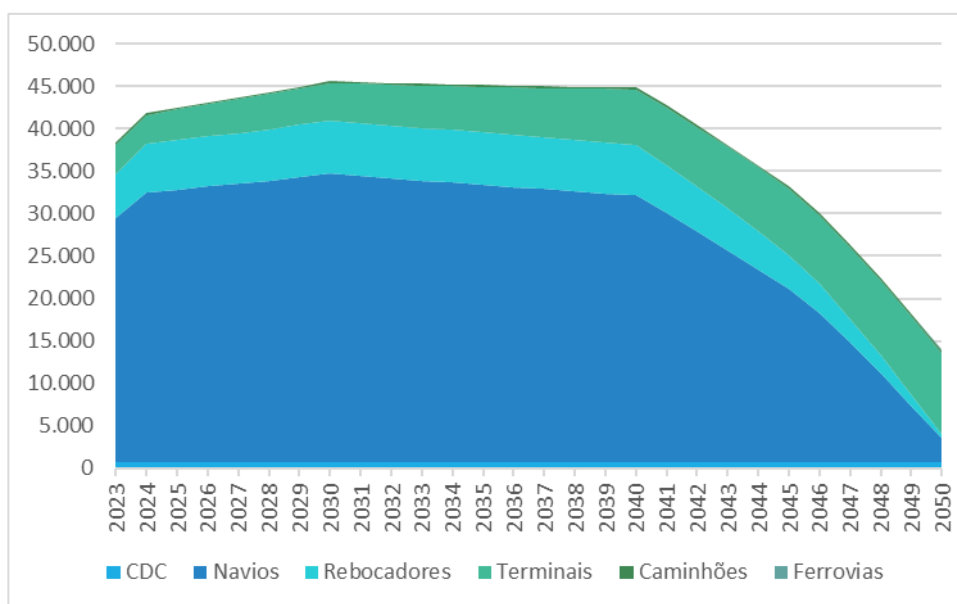
Fonte: Fundación Valenciaport

#### 4.4. Projeção Global

Considerando as projeções de tráfego e partindo do pressuposto de que nenhuma medida de descarbonização seja implementada pela CDC (cenário BAU – Business as Usual), estima-se um crescimento progressivo das emissões até 2040. A partir desse ano, espera-se que o setor marítimo passe a se alinhar à estratégia da OMI, resultando em uma redução significativa das emissões associadas a navios e rebocadores.

Nesse cenário, as emissões totais deverão atingir cerca de 45 ktCO<sub>2</sub>eq em 2040, reduzindo-se para 14 ktCO<sub>2</sub>eq em 2050, em função da renovação tecnológica da frota marítima. Ainda assim, as principais fontes de emissões residuais permanecerão associadas às operações de carga e descarga nos terminais, seguidas pela permanência dos navios atracados nos cais, exigindo atenção especial nas estratégias de mitigação de longo prazo.

Figura 20 - Projeções anuais de emissões de GEE do Porto de Fortaleza até 2050



Fonte: Fundación Valenciaport

## 5. Tecnologias disponíveis

A descarbonização do setor portuário exige uma transformação dos processos, equipamentos e fontes de energia atualmente utilizados. Nos últimos anos, surgiram diversas tecnologias com potencial para reduzir significativamente as emissões de GEE associadas às operações portuárias e logísticas.

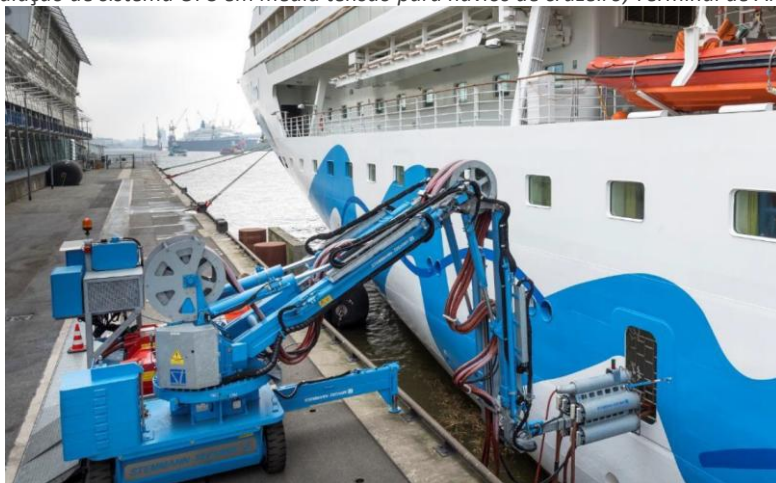
Essas soluções vão desde a eletrificação de veículos e equipamentos de operação, o uso de combustíveis alternativos de baixa emissão, até a implantação de sistemas de gestão e digitalização voltados à melhoria da eficiência energética. Embora muitas dessas tecnologias já estejam disponíveis no mercado e tenham demonstrado resultados positivos, sua implementação em larga escala ainda enfrenta desafios técnicos, econômicos e regulatórios, que devem ser analisados com base nas particularidades de cada porto, seu contexto operacional e territorial.

A seguir, são apresentadas as principais opções tecnológicas atualmente disponíveis para a descarbonização dos diferentes segmentos do ambiente portuário.

### 5.1. Navios

Com o propósito de reduzir as emissões relacionadas aos navios, podem ser adotadas diversas medidas, entre elas: o fornecimento de energia elétrica a partir de terra, a eletrificação por meio de baterias e a incorporação progressiva de combustíveis renováveis ou de baixa emissão. O Onshore Power Supply (OPS), também chamado de cold ironing ou conexão elétrica em porto, consiste em alimentar o navio a partir da rede elétrica terrestre enquanto está atracado, de modo que possa desligar seus geradores auxiliares.

*Figura 21 - Instalação de sistema OPS em média tensão para navios de cruzeiro, Terminal de Altona, Hamburgo*



*Fonte: Hamburg Port Authority*

A instalação de baterias a bordo consiste em integrar um sistema de armazenamento (baterias, BMS e inversores) conectado ao quadro elétrico do navio, que, durante a atracação, supre a demanda energética do navio atracado (permitindo desligar os geradores auxiliares e operar com menos ruído e emissões); ou então, durante as manobras, fornece potência temporária para o “peak shaving”, mantendo os motores em seu ponto eficiente e reduzindo o consumo, as emissões e o risco de quedas de tensão.

Figura 22 - Propulsão híbrida com baterias (Ro-Ro, Grimaldi)



Fonte: Cadena de Suministro<sup>1</sup>

O uso de combustíveis de baixa emissão, como a amônia, consiste em empregá-los como vetor energético para propulsão e/ou geração de energia a bordo, por meio de motores adaptados ou células a combustível, reduzindo as emissões durante a operação. Sua adoção requer infraestrutura portuária específica para abastecimento (*bunkering*): tanques e tubulações compatíveis, sistemas de ventilação e detecção de vazamentos, planos de emergência e zonas segregadas, capacitação do pessoal e procedimentos de segurança.

<sup>1</sup> [https://www.cadenadesuministro.es/noticias/grimaldi-incorpora-a-su-flota-el-eco-malta\\_1393546\\_102.html](https://www.cadenadesuministro.es/noticias/grimaldi-incorpora-a-su-flota-el-eco-malta_1393546_102.html)

Figura 23 – Uso de combustíveis de baixa emissão (amoníaco).



Fonte: Bioenergy International<sup>2</sup>

Além dessas medidas de descarbonização, existem projetos de inovação que oferecem soluções para os desafios mais complexos da descarbonização, como:

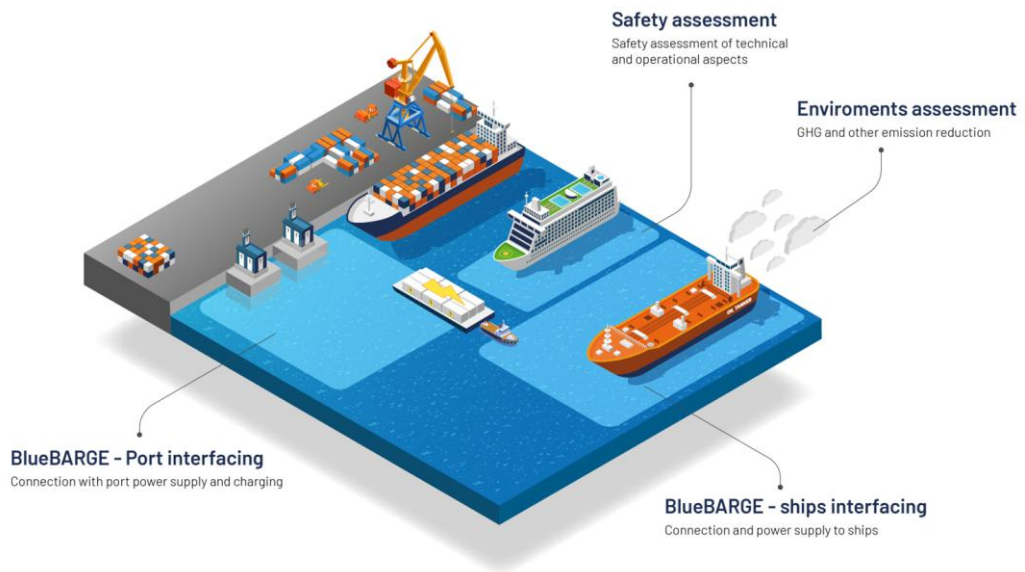
**BlueBARGE:** solução inovadora otimizada de barcaça de fornecimento de energia (power-barge) com módulos de fornecimento elétrico em contêineres, capaz de atingir pelo menos 3 MW de potência de descarga e 35 MWh de capacidade de energia.

A tecnologia de armazenamento baseia-se em sistemas de armazenamento de energia por baterias, utilizando íons de lítio e fluxo redox de vanádio.

---

<sup>2</sup> <https://bioenergyinternational.com/ihj-jera-commence-worlds-first-large-scale-ammonia-co-firing-demo/>

Figura 24 - Projeto BlueBARGE



Fonte: Projeto BlueBARGE<sup>3</sup>

**Elemanta:** barcaça de energia projetada para atingir de 1 a 5 MW de potência de descarga e até 48 horas de capacidade de energia autônoma. Possui uma célula a combustível de 1 MW e 1,5 tonelada de hidrogênio (H<sub>2</sub>) armazenada a bordo.

Figura 25 - Projeto Elemanta



Fonte: HDF Energy<sup>4</sup>

<sup>3</sup> <https://bluebarga.eu/>

<sup>4</sup> <https://hdf-energy.com/>

**Stilstrom:** conexão à rede de terra ou eletrificação direta, garantindo uma fonte de energia confiável, sustentável e constante para as embarcações ancoradas. Ele pode ser levado para as áreas de fundeio 2 e 3 e fornecer abastecimento simultâneo a todas as embarcações fundeadas.

Figura 26 - Projeto Silstrom.



Fonte: Stillstrom<sup>5</sup>

O uso de um software de digitalização de escalas permite otimizar a gestão portuária por meio do registro automatizado e em tempo real das operações das embarcações. Essa ferramenta facilita a visualização integral do tráfego marítimo e melhora o planejamento operacional, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos portuários. Graças à integração digital entre os diferentes atores envolvidos (autoridade portuária, terminais, agentes marítimos, práticos e rebocadores), é possível coordenar as operações de forma sincronizada e transparente, reduzindo ineficiências e tempos de espera.

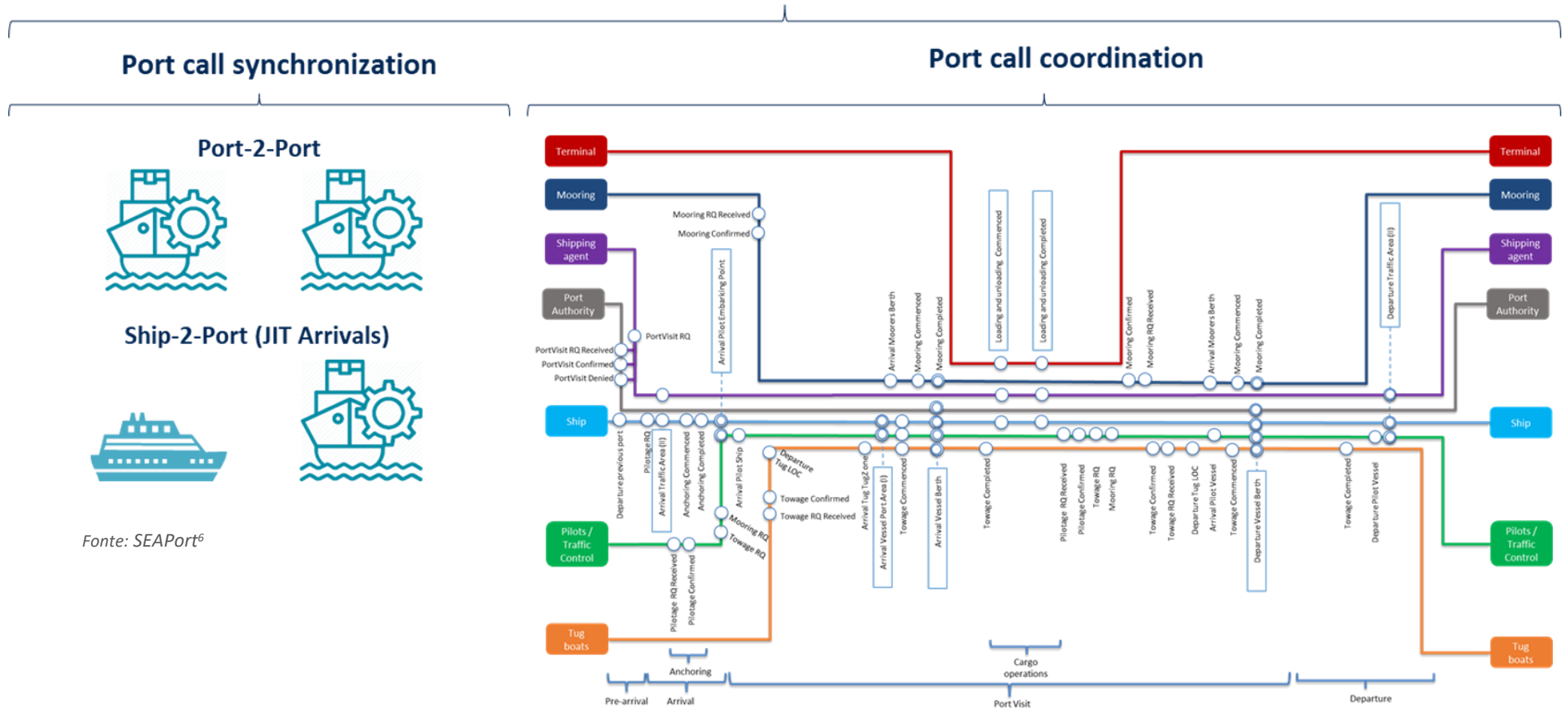
Além disso, a digitalização das escalas favorece a implementação de estratégias de “Just-In-Time Arrivals”, permitindo ajustar a chegada dos navios de acordo com a disponibilidade real do porto e otimizar as manobras de atracação, carga e descarga. Essa coordenação avançada resulta em maior produtividade operacional e uma redução significativa no consumo de combustível e nas emissões associadas. A figura a seguir ilustra o esquema de otimização e coordenação das escalas portuárias, mostrando a interação digital entre os diferentes agentes do processo:

---

<sup>5</sup> <https://stillstrom.com/>

Figura 27 – Software Paula Port CDM

## Port call optimization



Fonte: SEAPort<sup>6</sup>

<sup>6</sup> <https://seaport-solutions.com/>

## 5.2. Rebocadores

---

A principal opção para descarbonizar o serviço de rebocadores é a melhoria da eficiência dos rebocadores por meio de duas abordagens diferentes: a hibridização e o uso de revestimentos antifouling. No entanto, se forem buscados níveis mais elevados de descarbonização, torna-se necessária a utilização de combustíveis alternativos ou a modificação dos sistemas de propulsão, implementando a eletrificação.

### Combustíveis alternativos:

- **Metanol:** Dependendo de sua origem, pode ter um grande potencial para a redução de emissões. É uma alternativa em estado líquido em condições ambientais, o que permite uma implementação simples, considerando seu armazenamento e manuseio. Atualmente, existem iniciativas no Ceará para a produção desse combustível, embora dependa em grande medida da produção de hidrogênio verde para garantir sua origem renovável.
- **Etanol:** É um combustível amplamente consolidado no país, destacando-se o alto potencial no estado do Ceará, onde há uma capacidade crescente de produção de bioetanol. Atualmente, estão sendo realizados esforços conjuntos entre a Raízen e a Wartsila para a adaptação de motores marítimos para operar com etanol. O uso desse combustível mostra-se uma solução viável em nível nacional, permitindo uma redução da pegada de carbono a baixo custo, aproveitando a infraestrutura logística e produtiva já consolidada no Brasil.
- **Hidrogênio verde:** O estado do Ceará se destaca como uma região de alto potencial para a produção de hidrogênio verde, devido às condições favoráveis de geração de energia eólica e solar. Atualmente, há importantes iniciativas para o início da produção desse combustível no estado, sendo o Projeto Pecém o mais relevante, com o objetivo principal de produzir 500 toneladas diárias de hidrogênio verde. Nesse contexto, deve-se avaliar a viabilidade do uso dessa molécula como combustível em embarcações de porte semelhante aos rebocadores ou, alternativamente, seu uso intermediário na produção de outros combustíveis, como metanol ou biocombustíveis.
- **Biodiesel/HVO:** O uso de biocombustíveis avançados, como biodiesel e HVO, representa uma alternativa de curto e médio prazo para descarbonizar a frota existente, sem a necessidade de grandes modificações na infraestrutura atual. Esses combustíveis devem ser produzidos a partir de óleos residuais (até 90%), reduzindo o impacto indireto sobre o uso do solo. Do mesmo modo, o Brasil, como líder mundial na

produção de soja e palma, apresenta alto potencial de implementação desses combustíveis, utilizando essas matérias-primas para sua produção por diferentes processos industriais.

### **Eletrificação:**

De modo geral, o uso de alternativas de eletrificação para a descarbonização implica na geração de eletricidade a partir de fontes renováveis, de forma que a redução local de emissões se traduza em uma diminuição real em escala global. Nesse sentido, consideram-se as seguintes alternativas:

- OPS: Consiste na conexão dos rebocadores à rede elétrica terrestre enquanto estão atracados, permitindo o desligamento dos geradores auxiliares. É uma tecnologia madura, aplicável imediatamente em rebocadores em espera. Assim, há um alto potencial de que a fonte de eletricidade para o OPS seja renovável, considerando o forte potencial de geração solar e eólica existente na região.
- Hibridização: A combinação de um sistema a diesel tradicional com um sistema elétrico permite acionar o rebocador conforme sua demanda energética, reduzindo o consumo de combustível entre 10% e 25%. Os sistemas híbridos podem ser implementados como solução de transição, complementando o uso de combustíveis alternativos.
- Eletrificação total com baterias: Essa é uma alternativa com grande potencial, especialmente diante do alto potencial renovável local. Atualmente, a empresa Saam Towage, presente no Porto de Fortaleza, está implantando seus primeiros modelos de rebocadores equipados com baterias.

### **Redução de consumo.**

- Antifouling: Esses tratamentos buscam evitar o acúmulo de organismos marinhos no casco e nas hélices, o que reduz a resistência hidrodinâmica e melhora a eficiência entre 5% e 15%, dependendo do tipo de revestimento aplicado.
- Digitalização e monitoramento energético: A digitalização e o monitoramento dos sistemas de propulsão permitem um melhor acompanhamento dos consumos e emissões gerados pela operação das embarcações, como os rebocadores, possibilitando tomar ações em tempo real para garantir a eficiência operacional.

## **5.3. Terminais**

---

No caso de Fortaleza, os operadores dos terminais portuários utilizam principalmente equipamentos com motores a diesel. Além disso, existe um consumo significativo de eletricidade não renovável. Observa-se um consumo

limitado de GLP e gasolina. Todas essas fontes de energia geram emissões de GEE, às quais se somam as provenientes de extintores e sistemas de ar-condicionado.

As principais estratégias para reduzir as emissões dos equipamentos portuários incluem o uso de eletricidade renovável e ações voltadas à diminuição do consumo de combustíveis fósseis. Isso pode ser alcançado de diversas formas, como por meio do uso de eletricidade renovável em vez da convencional para os equipamentos elétricos, do uso de combustíveis drop-in, de motores mais eficientes ou da adoção de novos combustíveis.

Os equipamentos que podem utilizar **eletricidade renovável** são:

- Esteiras elétricas.
- Conexões para reefers (contêineres refrigerados).
- Guindastes de cais do tipo MHC (Mobile Harbor Cranes) elétricos.

Como combustíveis *drop-in* podem ser mencionados:

- Biodiesel e HVO: Idealmente produzidos a partir de óleos residuais (até 90%). O Brasil é uma potência na produção de soja e palma.
- Etanol: Utilizado em misturas como a gasolina E10 (com 10% de etanol).

Uma terceira via é melhorar a eficiência energética com motores de menores emissões, inclusive com motores de nova propulsão.

- Melhoria da eficiência energética:
  - Hibridização
  - GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)
  - Elétricos puros
- Nova propulsão:
  - Bio-GNL: Gás natural liquefeito de origem renovável.
  - Hidrogênio (H<sub>2</sub>) e Células a Combustível (Fuel Cells).

## GUINDASTES MÓVEIS DE CAIS

Desde 2020, diversos grandes fabricantes e empresas especializadas passaram a disponibilizar guindastes móveis de cais totalmente elétricos (MHC — Mobile Harbour Cranes). Entre os principais fornecedores estão Liebherr, Konecranes, Gottwald, Sennebogen, Italgru e Palfinger Marine.

Portos que já operam MHCs elétricos incluem Los Angeles (EUA), Antuérpia (Bélgica), Roterdã (Holanda), Durrës (Albânia), Dar es Salaam (Tanzânia) e Mormugao (Índia).

Figura 28 - Guindastes Móveis de Cais elétricos



Fonte – Konecranes-Gottwald; Liebherr; Italgru

## EMPILHADEIRAS

Vários fabricantes oferecem equipamentos que melhoram a eficiência energética e reduzem as emissões:

- Toyota: Modelo com bateria elétrica (íon de lítio ou chumbo-ácido).
- Hyster: Modelo elétrico. Também possuem versões de hidrogênio (H<sub>2</sub>) em desenvolvimento.
- Still GmbH: Modelo elétrico com bateria de lítio
- BYD: Modelo elétrico com baterias de fosfato de ferro-lítio.

Figura 29 – Empilhadeira elétrica de alta capacidade Hyster Li-ion



Fonte – Hyster.com

## REACH STACKERS (EMPILHADORES DE CONTÊINERES)

Alguns dos fabricantes que dispõem de equipamentos que reduzem as emissões são:

- Kalmar (grupo Cargotec): possui uma versão elétrica com baterias e oferece opções híbridas e HVO.
- Hyster: dispõe de versão elétrica com baterias de lítio ou hidrogênio (célula a combustível).
- Liebherr: oferece versão elétrica com plug-in ou baterias.

Figura 30 – Reachstacker Kalmar HVO



Fonte – Kalmarglobal.com

## FRONT-END LOADERS (PÁ CARREGADEIRA)

Algumas das opções existentes são as oferecidas pelos seguintes fabricantes de equipamentos:

- Volvo CE: motor elétrico (baterias).
- Caterpillar (CAT): bateria elétrica. A CAT também está testando hidrogênio em outros equipamentos.
- Komatsu: motor elétrico (baterias).
- John Deere: motor com bateria elétrica.

Figura 31 - Carregadeira de Rodas Compacta Elétrica Volvo



Fonte – volvoce.com

### BACKHOE LOADERS (RETROESCAVADEIRA)

Alguns dos equipamentos disponíveis são:

- JCB: equipamentos com motor elétrico e um modelo de hidrogênio.
- CASE Construction: equipamentos com motor elétrico.
- Volvo CE: motor elétrico em desenvolvimento.

Figura 32 – Carregadeira JCB com motor de hidrogênio



Fonte: jcb.com

## OUTROS EQUIPAMENTOS PORTUÁRIOS

Alguns fabricantes oferecem outros equipamentos portuários com motores de combustíveis alternativos aos fósseis:

- Konecranes possui RTG (Rubber-Tired Gantry) elétrico e HVO/biodiesel.
- Terberg desenvolveu um trator de terminal elétrico.
- MAN Truck & Bus dispõe de caminhões elétricos para portos.
- Scania: caminhões com motores a biogás (Bio-GNL) ou HVO.

Figura 33 – Trator de terminal elétrico da Terberg



Fonte – [terbergspecialvehicles.com](http://terbergspecialvehicles.com)

Em resumo, os combustíveis alternativos que podem ser utilizados atualmente em equipamentos portuários são:

- Elétrico (baterias): a opção mais comum (ex.: Kalmar, Volvo, CAT).
- Hidrogênio (H<sub>2</sub>): em desenvolvimento (Hyster, JCB).
- Com HVO/Biodiesel: usado em equipamentos a diesel modificados (Kalmar, Konecranes).
- Bio-GNL: para caminhões e máquinas pesadas (Scania, IVECO).
- GLP/GNC: menos comum em portos, mas usado em algumas empilhadeiras.

Figura 34 – Caminhão a biogás da Scania



Fonte: Scania.com

## 5.4. Caminhões

---

Para avançar em direção a um transporte mais sustentável, existem diversas tecnologias que permitem a descarbonização dos caminhões. Essas soluções não buscam apenas reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas também otimizar o consumo de energia e melhorar a eficiência operacional. As principais estratégias concentram-se na redução de consumos, no uso de combustíveis *drop-in* e em tecnologias de nova propulsão.

### Redução de consumo

- Monitoramento da frota com IoT e telemetria para otimizar rotas, consumo e manutenção.
- Programas de eficiência e certificação de caminhões, reboque triplo e assistência empresarial.

### Combustíveis drop-in

- Promoção do uso de biodiesel e HVO em operações portuárias e transporte de cargas.
- Integração a projetos-piloto de óleo vegetal residual (reaproveitamento).
- Estudos para uso regional de biocombustíveis produzidos no Ceará, com foco em soja, palma e resíduos urbanos.

### Nova propulsão

- Avaliação de caminhões movidos a Gás Natural Liquefeito (GNL) e biometano, considerando a futura rede de abastecimento metropolitana.
- Elétricos leves para operações de curta distância dentro do porto e retroáreas (parcerias com Volvo e Scania).

Algumas iniciativas no estado do Ceará que podem servir de referência ou ponto de partida tecnológico para caminhões:

- A Cegás e a Scania fizeram teste com caminhão 100 % movido a GNV aliado a biometano, demonstrando tecnologias de propulsão alternativa no estado.
- O estado do Ceará inaugurou uma rede de distribuição de gás natural renovável (GNR / biometano) para uso industrial, comercial e veicular.

*Figura 35 - Caminhão a biogás da Scania*



*Fonte: Cegás*

*Figura 36 - Centro de distribuição de gás natural renovável (GNR / biometano)*



*Fonte: Governo do estado do Ceará*

Os serviços de assistência permitem reduções significativas com baixo investimento e boa aceitação social. No Brasil, o Programa de Logística Verde Brasil (PLVB), coordenado pelo Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), promove práticas sustentáveis na cadeia logística, visando à redução de emissões, transição energética e melhoria ambiental.

Figura 37 - Programa de Logística Verde Brasil (PLVB)



Fonte: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável

## 5.5. Ferrovias

---

As tecnologias de descarbonização ferroviária no Ceará concentram-se em melhoria operacional, eficiência energética e uso de combustíveis limpos. Com a ampliação da Transnordestina e os acessos ferroviários aos portos de Fortaleza e Pecém, as maiores oportunidades estão na otimização da operação, hibridização de locomotivas e no aproveitamento da matriz energética renovável do estado.

### Operação

- Integração logística porto-ferrovia, com controle digital do fluxo de vagões e monitoramento em tempo real.
- Otimização de tráfego com inteligência artificial, reduzindo tempo ocioso e consumo. Sistemas de telemetria e gestão energética nas manobras ferroviárias portuárias (CDC e CIPP S/A).

### Combustíveis e eficiência

- Locomotivas híbridas (diesel-elétricas ou a baterias de lítio) para operação em terminais de carga e pátios portuários.
- Uso de biocombustíveis regionais (biodiesel e HVO), com potencial produtivo no Ceará via soja, palma e resíduos urbanos.
- Aproveitamento de frenagem regenerativa para recarga e redução do consumo.

### Nova propulsão

- Estudos para eletrificação parcial da linha ferroviária interna dos portos, por meio de parcerias público-privadas.

- Aplicação futura de biometano e Bio-GNL, aproveitando a rede da CEGÁS e a produção de gás renovável no estado.

## 5.6. Energias renováveis

---

### 5.6.1. Potencial de geração de energia solar fotovoltaica

Este estudo tem como objetivo analisar o potencial de geração de energia solar fotovoltaica no Porto de Fortaleza, considerando especificamente a viabilidade de instalação de sistemas solares sobre coberturas de edifícios administrativos, estacionamentos em processo de reforma e outras áreas sob gestão da CDC, inclusive fora do perímetro portuário.

A seleção das áreas destinadas à implantação de sistemas fotovoltaicos no Porto de Fortaleza deve obedecer a critérios técnicos, operacionais e administrativos que garantam tanto a viabilidade do projeto quanto a plena continuidade das atividades portuárias. Para assegurar um desempenho eficiente da usina solar e evitar interferências com as operações logísticas, é fundamental que os terrenos escolhidos apresentem condições adequadas de disponibilidade, geometria, sombreamento e compatibilidade funcional com o ambiente portuário. A seguir, detalham-se as características que as superfícies avaliadas devem cumprir para serem consideradas aptas à instalação fotovoltaica.

#### 1) Disponibilidade e titularidade

- Superfícies localizadas dentro do recinto portuário e cuja disponibilidade seja formalmente confirmada pela autoridade portuária.

#### 2) Tamanho e compacidade da superfície

- Preferência por áreas contínuas e regulares (retangulares), que reduzem a necessidade de corredores, bordas e custos por kWp instalado.
- Exclusão de coberturas muito fragmentadas ou com grande densidade de equipamentos (claraboias, sistemas HVAC, dutos).

#### 3) Sombras presentes e futuras

- Verificação da proximidade de obstáculos (guindastes, chaminés, edifícios altos, mastros) e de suas sombras projetadas; priorizam-se superfícies com baixa intersombragem ao longo do dia e do ano.
- Em estacionamentos, ausência de arborização alta ou luminárias que provoquem sombras significativas.

#### 4) Interação com a operação portuária

- Não interferir com rotas de guindastes, pátios de contêineres, berços de atracação ou com a visibilidade/operação de posições críticas.
- Em estacionamentos, garantir a viabilidade de instalação de marquises fotovoltaicas sem afetar a circulação nem o gabarito de veículos (leves e pesados).

As áreas apresentadas a seguir foram selecionadas em conformidade com os critérios técnicos definidos e de acordo com a validação da própria autoridade portuária, garantindo sua disponibilidade e aptidão para a implantação da geração fotovoltaica.

Tabela 4 - Localização das instalações fotovoltaicas

Id	Coordenadas
Telhado 1 - Não existe mais	3°42'21.4"S 38°28'16.6"W
Telhado 2 - Armazém C6	3°42'28.6"S 38°28'18.5"W
Telhado 3 - Armazém C5	3°42'34.0"S 38°28'19.0"W
Telhado 4 - Armazém C3	3°42'41.4"S 38°28'22.7"W
Telhado 4.1 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	3°42'38.8"S 38°28'21.9"W
Telhado 4.2 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	3°42'38.0"S 38°28'21.8"W
Telhado 4.3 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	3°42'38.4"S 38°28'20.7"W
Telhado 5 - Armazém A-1 arrendado para a Tergran	3°42'52.8"S 38°28'35.2"W
Estacionamento 1 - Estacionamento do NAP	3°42'39.0"S 38°28'20.9"W

Fonte: Fundación Valenciaport

Figura 38 - Áreas disponíveis para a instalação de painéis fotovoltaicos em zonas controladas pela CDC



Fonte: Fundación Valenciaport

Após a análise detalhada das infraestruturas e superfícies disponíveis no recinto do Porto de Fortaleza, determinou-se que a área potencialmente aproveitável para a instalação de painéis fotovoltaicos totaliza **18.361 m<sup>2</sup>**. Desse total, apenas 470 m<sup>2</sup> correspondem a áreas de estacionamento, sendo o restante composto por coberturas de edifícios.

Para refletir com maior precisão a fração útil realmente disponível, aplicaram-se fatores de adequação de 80% para as coberturas (considerando obstáculos, inclinações ou zonas não acessíveis) e de 90% para os estacionamentos (devido à configuração estrutural e ao espaçamento entre fileiras).

Como resultado, a superfície útil líquida estimada para a instalação dos painéis solares é de 14.689 m<sup>2</sup>, constituindo a base para o dimensionamento da usina fotovoltaica dentro do perímetro portuário.

Tabela 5 - Áreas identificadas no terreno da CDC

		Extensão (m2)	Fator	Superfície (m2)
Edifícios	Telhado 1	298,0	0,8	238,4
	Telhado 2 - Armazém C6	2870,0	0,8	2296,0
	Telhado 3 - Armazém C5	5475,0	0,8	4380,0
	Telhado 4 - Armazém C3	2120,0	0,8	1696,0
	Telhado 4.1 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	450,0	0,8	360,0
	Telhado 4.2 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	360,0	0,8	288,0
	Telhado 4.3 - Núcleo de Apoio Portuário (NAP)	318,0	0,8	254,4
	Telhado 5 - Armazém A-1 arrendado para a Tergran	6000,0	0,8	4800,0
Estacionamentos	Estacionamento 1 - Estacionamento do NAP	470,0	0,9	423,0
<b>TOTAL</b>		<b>18361</b>		<b>14688,8</b>

Fonte: Fundación Valenciaport

Com o objetivo de dimensionar a instalação fotovoltaica mais adequada ao espaço disponível no Porto de Fortaleza, foram analisados diferentes modelos comerciais de painéis solares de alta eficiência atualmente disponíveis no mercado brasileiro. Em particular, compararam-se três módulos representativos da tecnologia monocristalina **PERC** de 550 Wp, especificamente o modelo Tensite EM550-PH.

O modelo selecionado incorpora células de meia célula ("half-cut"), o que melhora o desempenho em condições de sombreamento parcial, reduz perdas por resistência e aumenta a confiabilidade geral do sistema. Além disso, apresenta eficiência superior a 21%, tornando-o especialmente adequado para situações com superfície limitada, como é o caso das coberturas e estacionamentos identificados no porto.

Estimou-se a produção anual em função da irradiância local. Utiliza-se a irradiância global horizontal horária (GHI) da página oficial da NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>), especificamente da ferramenta Data Access Viewer (DAV). Dado que a trajetória solar do local permite uma inclinação muito baixa ( $\approx 5^\circ$ ), assume-se que, para efeitos práticos, a irradiância no plano do gerador é equivalente à horizontal.

$$POA_h \approx GHI_h.$$

Definido um desempenho global PR (perdas térmicas, elétricas, sujidade, inversor e disponibilidade), calcula-se a energia anual total obtendo primeiro a irradiância anual.

Para isso, a irradiação anual expressa em Wh/m<sup>2</sup> ("POAanual") é convertida em horas solares de pico (HSP) dividindo-a pela irradiância padrão de 1000 W/m<sup>2</sup>. Este valor de referência corresponde às condições padrão de

medição (STC) e permite expressar o recurso solar como horas equivalentes de funcionamento do sistema à potência nominal.

A relação é:

$$HSP = \frac{POA_{\text{Anual}} [\text{Wh/m}^2]}{1000 [\text{W/m}^2]}$$

A energia anual é então estimada como:

$$E_{\text{anual}} = P_{\text{inst}} [\text{kWp}] \cdot HSP [\text{h}] \cdot PR$$

A produção máxima estimada é de **5.587 MWh anuais**. O perfil de demanda elétrica utilizado neste estudo foi construído a partir do consumo total anual do período de referência, o qual foi redistribuído ao longo das 8.760 horas do ano por meio de um modelo estocástico com desvio-padrão de 10%. Essa abordagem permite gerar uma série temporal horária que, embora não represente de forma exata o comportamento real da carga portuária, incorpora uma variabilidade estatística coerente com flutuações típicas de instalações industriais e logísticas. A utilização dessa distribuição probabilística tem como finalidade comparar os níveis horários de demanda com os de geração fotovoltaica simulada, de modo a identificar situações de coincidência, déficit ou excedente, e assim avaliar preliminarmente as condições de integração da produção renovável à rede elétrica interna do porto.

Essa metodologia fornece uma primeira visão do equilíbrio entre geração e consumo, permitindo estimar a necessidade potencial de armazenamento, a ocorrência de vertimentos e a dependência da rede pública. No entanto, trata-se apenas de uma aproximação inicial. Para uma avaliação definitiva, será necessário realizar um estudo mais aprofundado que considere a tipologia específica da rede elétrica portuária — incluindo subdivisões de carga, perfis reais de operação dos terminais, presença de picos associados a equipamentos críticos, variações sazonais, redundâncias, sistemas de proteção e estratégias de gerenciamento energético. Somente com esses dados será possível representar com precisão o comportamento dinâmico da demanda e otimizar de forma robusta a integração das fontes renováveis ao sistema elétrico do porto.

*Tabela 6 - Demanda e geração mensais*

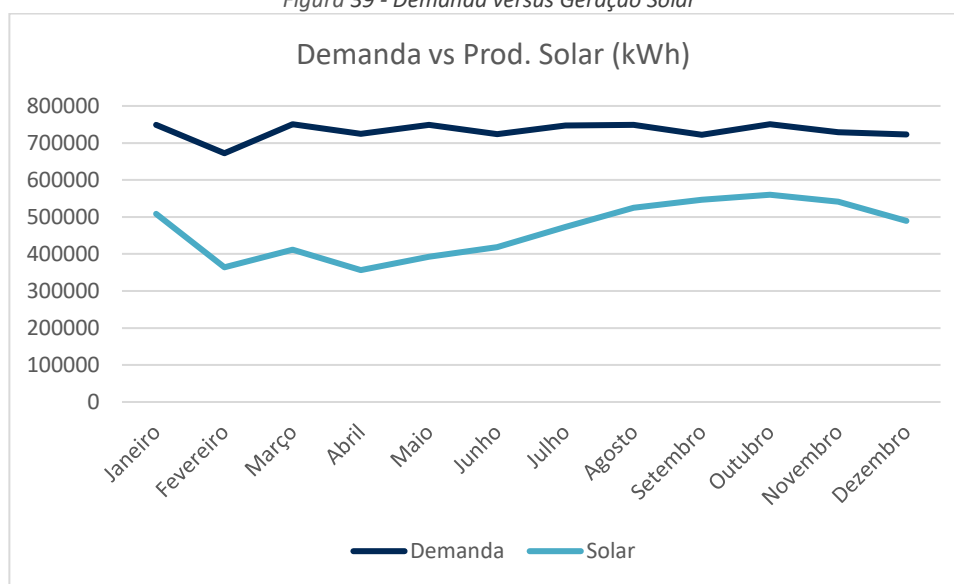
Mes	Demanda (kWh)	Geração (kWh)
Janeiro	749250	508528
Fevereiro	672223	363994
Março	750611	411907
Abril	724943	356416
Mai	749294	392397
Junho	723702	418383

<b>Julho</b>	<b>747335</b>	<b>473232</b>
<b>Agosto</b>	<b>749033</b>	<b>524569</b>
<b>Setembro</b>	<b>721695</b>	<b>546386</b>
<b>Outubro</b>	<b>750491</b>	<b>560084</b>
<b>Novembro</b>	<b>728671</b>	<b>541703</b>
<b>Dezembro</b>	<b>722726</b>	<b>489670</b>
<b>Total</b>	<b>8789974</b>	<b>5587269</b>

Fonte: Fundación Valenciaport

A demanda anual da instalação é de 8.789,94 MWh enquanto a produção solar atinge 5.587,27 MWh ao longo do ano. Essa geração representa aproximadamente sessenta e três por cento da demanda total, porém o descompasso entre os momentos de geração e consumo leva ao vertimento de **2.194,23 MWh** anuais o que significa que cerca de trinta e nove por cento da energia produzida não é aproveitada diretamente pela instalação. Sem armazenamento a energia solar efetivamente utilizada para suprir a demanda chega a **3.393,04 MWh** reduzindo a dependência da rede mas ainda mantendo uma parcela significativa de **5.407,72 MWh** comprada anualmente.

Figura 39 - Demanda versus Geração Solar



Fonte Fundación Valenciaport

Do ponto de vista econômico o investimento total estimado no sistema fotovoltaico é de 24.548.000 reais sem qualquer custo destinado a baterias ou armazenamento. O preço da eletricidade adquirida da rede é de 0,47 reais por kWh e a economia anual decorrente da geração fotovoltaica é estimada em 2.626.016,62 reais. Considerando essa economia e o fluxo de caixa anual de aproximadamente 2.628.210,85 reais o projeto demonstra desempenho financeiro sólido com um Valor Presente Líquido de 17.695.073,13 reais calculado com uma taxa de desconto de quatro por cento ao ano (12 anos). Esse resultado indica que o sistema gera valor econômico substancial ao longo do período de análise reforçando sua atratividade. O retorno sobre o investimento informado é de sete por cento e a taxa interna de retorno associada ao fluxo anual estimado aproxima-se de dez por cento ao ano um valor

consideravelmente maior do que a taxa de desconto adotada o que confirma a viabilidade econômica do empreendimento. O prazo simples de retorno do investimento é de aproximadamente nove anos e três meses enquanto o retorno descontado ocorre por volta do décimo segundo ano.

Apesar dos bons resultados financeiros o estudo energético revela que o alto índice de vertimento limita o aproveitamento pleno da geração renovável. Caso o excedente solar não seja remunerado por meio de compensação ou venda à rede o benefício econômico real seria menor do que o apresentado nos fluxos utilizados contudo se toda a energia gerada for efetivamente valorizada ao preço de compra então os resultados financeiros permanecem coerentes. Esse cenário demonstra que há oportunidade significativa de otimização seja por meio da introdução de sistemas de armazenamento que reduziriam o vertimento seja pela gestão de carga ou pela venda do excedente a terceiros.

Em síntese o projeto apresenta retorno financeiro robusto e geração de valor expressiva ao mesmo tempo em que evidencia possibilidades claras de melhoria operacional para aumentar a utilização da energia renovável produzida ampliando assim a eficiência energética e fortalecendo ainda mais a viabilidade econômica ao longo do tempo.

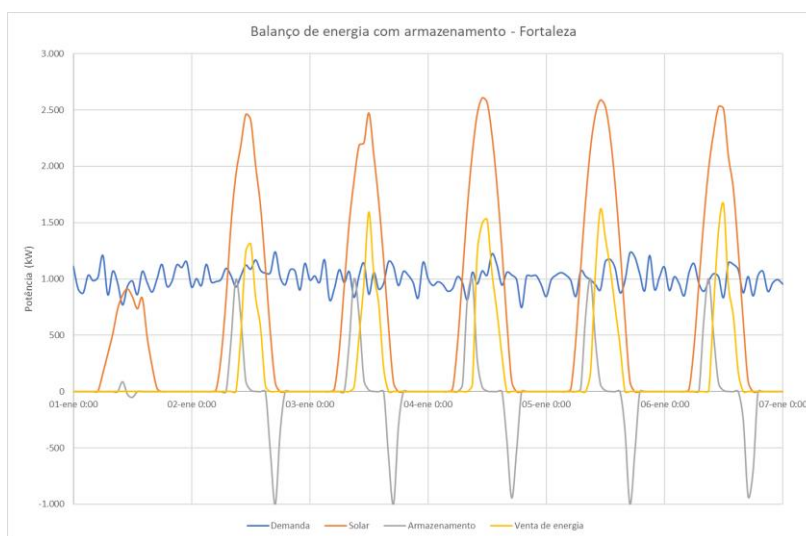
#### 5.6.2. Estudo de Hibridização Solar com Sistema de Armazenamento em Bateria

A análise desenvolvida baseia-se em um modelo de otimização energética cujo objetivo principal é identificar a configuração de armazenamento que maximiza o aproveitamento econômico da instalação fotovoltaica considerando simultaneamente a série temporal horária de geração e demanda ao longo de todo o ano e incorporando as condições de preço da rede elétrica e os custos de investimento em baterias o modelo opera reconstruindo o balanço energético hora a hora de modo que a cada intervalo se decide dinamicamente entre consumir energia solar carrega-la na bateria descarrega-la para reduzir a compra da rede ou ainda vertê-la quando não há capacidade suficiente para armazenar ou consumir essa decisão é orientada por um algoritmo que busca minimizar o custo anual líquido e maximizar o retorno econômico do sistema

Para caracterizar o componente de armazenamento o custo de CAPEX foi calculado a partir da metodologia apresentada no ATB do NREL [[https://atb.nrel.gov/electricity/2021/utility-scale\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2021/utility-scale_battery_storage)] adotando a expressão de investimento aproximado custo total igual a 5040 multiplicado pela potência em kW acrescido de 240 multiplicado pela capacidade em kWh aplicando essa fórmula à bateria dimensionada pelo modelo com potência de 1000 kW e capacidade de 6397 kWh obtém-se um valor que consolida o CAPEX bruto de mercado ao qual se aplicou posteriormente uma redução de cinquenta por cento a fim de representar um cenário realista de queda de custos ou de obtenção de subsídios externos sem essa redução o investimento seria ainda maior reforçando o caráter antieconômico do armazenamento nas condições atuais

No plano energético a introdução da bateria altera profundamente o balanço renovável ao longo do ano a geração solar anual permanece constante em 5587,269 MWh porém o vertimento que na ausência de armazenamento alcança 2193,12 MWh é reduzido drasticamente para 322,86 MWh graças à capacidade de estocar 1870,26 MWh o que corresponde a 33,47 por cento de toda a energia solar disponível a bateria opera com 1807 ciclos anuais e uma utilização média de potência de 71,96 por cento demonstrando que existe forte descompasso temporal entre oferta e demanda que o sistema de armazenamento consegue mitigar de maneira eficaz com isso a energia comprada da rede diminui de 5410,47 MWh para 3820,75 MWh traduzindo se em maior autonomia energética da instalação e maior aproveitamento da geração própria.

Figura 40 - Perfil de Geração, Demanda, Armazenamento e Vertimentos



Fonte: Fundación Valenciaport

Contudo, ao se introduzirem os valores econômicos, o impacto financeiro negativo torna-se evidente. O investimento total do projeto com armazenamento atinge **R\$ 31.123.400,26**, sendo **R\$ 24.548.000,00** referentes à planta fotovoltaica e **R\$ 6.575.400,26** destinados ao sistema de baterias, já considerando uma redução de **50% no CAPEX**. Caso contrário, o valor ultrapassaria facilmente **R\$ 13 milhões** apenas para o armazenamento.

Mesmo com a melhoria do desempenho energético, a economia anual na compra de eletricidade é de apenas **R\$ 747.168,51**, resultando em um fluxo de caixa anual limitado a **R\$ 785.911,57**. Esse montante mostra-se insuficiente para recuperar o investimento adicional dentro de prazos economicamente aceitáveis.

Ao se aplicar uma taxa de desconto de **4%**, obtém-se um **Valor Presente Líquido (VPL) negativo de R\$ 1.284.058,17** e um **retorno sobre o investimento (ROI) de -4%**, indicando que o sistema de armazenamento não apenas deixa de gerar valor, como também reduz a atratividade do projeto global. Esse resultado contrasta com o cenário sem baterias, que apresentava um **VPL positivo de R\$ 17,7 milhões** e retorno econômico favorável, mesmo adotando a mesma metodologia financeira.

Esses resultados demonstram que, embora o sistema de baterias apresente desempenho técnico robusto e permita elevar substancialmente o nível de autoconsumo de energia renovável, sua viabilidade econômica depende de forma crítica do **CAPEX**. O modelo de otimização confirma, de maneira consistente, que o armazenamento somente se tornaria competitivo caso o mercado alcançasse reduções de custo adicionais, superiores às já consideradas no cenário analisado, ou caso fossem disponibilizados **incentivos externos** capazes de neutralizar parcela relevante do investimento inicial.

Na ausência desses fatores, a adoção de baterias em projetos desse porte permanece **antieconômica**, apesar dos claros benefícios operacionais que o sistema oferece, particularmente no que se refere à **redução de vertimento de energia** e ao **aumento da cobertura renovável**.

### 5.6.3. Estudo de Hibridização Solar com Produção de Hidrogênio Verde

O Porto de Fortaleza reúne condições técnicas e ambientais adequadas para a implantação de uma unidade de produção de hidrogênio verde, especialmente devido ao seu potencial solar e à infraestrutura energética que pode ser estruturada a partir da usina fotovoltaica analisada anteriormente. A instalação solar considerada, com capacidade instalada de 3,23 MW e produção anual de aproximadamente 5,6 GWh, constitui a base renovável que viabiliza o fornecimento parcial ou integral de energia a um sistema de eletrólise dedicado à geração de hidrogênio no próprio porto.

Com base nesse recurso energético, projeta-se a instalação de um eletrolisador com capacidade de produção diária máxima de cerca de 450 kg de hidrogênio, resultando em um volume anual estimado em torno de 150 mil kg, assumindo operação contínua ao longo dos 365 dias do ano. Essa quantidade seria suficiente para atender parte significativa das necessidades energéticas internas do terminal, incluindo equipamentos móveis portuários, veículos de apoio operacional, sistemas auxiliares ou até frotas externas diretamente associadas à atividade logística do porto. Em termos de substituição energética, corresponderia ao suprimento aproximado de dez máquinas de operação portuária identificadas no plano de descarbonização em andamento.

A definição dessa escala de produção foi realizada de maneira prudente, considerando o estágio de maturidade tecnológica da eletrólise e o nível ainda inicial de implementação de soluções baseadas em hidrogênio em ambientes portuários. A adoção dessa abordagem conservadora permite reduzir riscos operacionais, assegurar estabilidade do fornecimento e criar uma estrutura modular que possa ser expandida à medida que o porto avance em sua estratégia de transição energética e a demanda por hidrogênio verde aumente. Essa capacidade está alinhada com um cenário de desenvolvimento progressivo da demanda portuária e logística, garantindo, ao mesmo tempo, uma escala suficientemente representativa para demonstrar viabilidade técnica e econômica.

Para atingir essa taxa de produção diária, é necessário estabelecer primeiro a relação entre o consumo energético do eletrolisador e o rendimento do processo. Os sistemas comerciais atuais apresentam consumos energéticos que oscilam entre 50 e 55 kWh por cada quilograma de hidrogênio produzido, dependendo da tecnologia utilizada, da pureza da água de alimentação e da pressão de saída. Assumindo um valor médio de 52,5 kWh/kg H<sub>2</sub>, a produção de 450 kg diários exigirá um consumo elétrico de 23.625 kWh por dia.

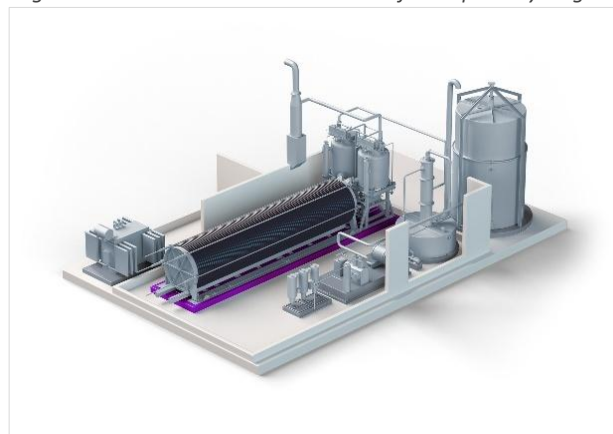
Essa demanda energética diária equivale, em termos de potência nominal, a 984 kW de carga contínua durante 24 horas. No entanto, dado que a energia renovável — neste caso, solar fotovoltaica — não está disponível de forma contínua ao longo do dia e considerando a necessidade de flexibilidade operacional (por manutenção, variabilidade da irradiância ou desconexões), propõe-se a instalação de um eletrolisador com uma potência nominal de 1 MW.

O eletrolisador poderá operar de forma ajustada à curva de geração solar do porto ou manter uma operação mais estável por meio do uso de energia complementar da rede elétrica. Essa flexibilidade é crítica para garantir o abastecimento contínuo de hidrogênio sem a necessidade de sobredimensionar o sistema de armazenamento.

Em relação à tecnologia de eletrólise, consideram-se duas alternativas principais atualmente consolidadas no mercado:

**Eletrólise Alcalina (AWE):** tecnologia madura e amplamente disponível, com custos de investimento relativamente baixos. Sua principal limitação está na menor capacidade de resposta frente às variações de carga elétrica, o que pode dificultar a integração direta com fontes renováveis intermitentes, como a solar fotovoltaica.

*Figura 41 - Eletrolisador Alcalino Atmosférico | Nel Hydrogen.*



*Fonte: Nel Hydrogen*

**Eletrólise PEM (PEM):** tecnologia mais recente, adequada para ambientes com geração elétrica variável. Oferece tempos de partida mais rápidos, maior densidade energética e facilidade de operação em pressões elevadas, embora com um custo de aquisição ligeiramente superior ao da opção alcalina.

Figura 42 - Eletrolisador PEM ITM de 1 MW



Fonte: ITM Power

Considerando que a planta estará parcialmente conectada à geração fotovoltaica, com perfis de produção flutuantes, e priorizando a flexibilidade operacional, recomenda-se a adoção da tecnologia PEM para esta primeira instalação piloto no Porto de Fortaleza. Essa escolha permite maximizar o aproveitamento da energia solar disponível, reduzir o risco de perda de produção devido à instabilidade da fonte energética e facilitar futuras ampliações modulares do sistema.

No caso de uma produção diária de 450 kg de hidrogênio, estima-se, portanto, uma necessidade hídrica de aproximadamente 5.000 a 6.750 litros por dia, o que equivale a entre 5 e 6,75 m<sup>3</sup>/dia. Deve-se garantir o fornecimento desse recurso a partir da rede de abastecimento de água do Porto de Fortaleza.

Como sistema de armazenamento e abastecimento diretamente conectado à produção descrita na seção anterior, propõe-se a implementação de uma estação de abastecimento de hidrogênio (Hydrogen Refuelling Station – HRS), especificamente adaptada ao ambiente portuário, seguindo o modelo operacional testado no projeto europeu H2PORTS, atualmente em operação no Porto de Valência.

A solução implementada no H2PORTS demonstrou viabilidade técnica e operacional em um ambiente logístico complexo, atendendo com sucesso a equipamentos portuários pesados, como um reach stacker e um cavalo mecânico equipado com célula a combustível. A proposta para o Porto de Fortaleza consiste em replicar essa solução como base tecnológica, ajustando sua capacidade de armazenamento à demanda energética prevista neste estudo.

Especificamente, propõe-se triplicar a capacidade de armazenamento de hidrogênio em baixa pressão, passando dos 150 kg utilizados em Valência para 450 kg em Fortaleza, com o objetivo de atender a uma operação diária mais intensa e contínua.

Figura 43 - Hidrogeradora do projeto H<sub>2</sub>Ports localizada no Porto de Valência



Fonte: Fundación Valenciaport

A HRS proposta será composta pelos seguintes subsistemas principais:

- **Unidade de armazenamento em baixa pressão (30–40 bar):** sistema composto por racks de cilindros projetados para conter até **450 kg de hidrogênio**. Essa capacidade cobriria aproximadamente um dia completo de operação, coincidindo com o ritmo de produção da planta de eletrólise dimensionada. O armazenamento em baixa pressão permite maior segurança em ambientes operacionais complexos e reduz os requisitos técnicos dos equipamentos de transferência.
- **Sistema de compressão e abastecimento:** módulo de compressores que eleva a pressão do hidrogênio desde o armazenamento primário até os níveis requeridos para o abastecimento (350 ou 700 bar, dependendo do tipo de veículo ou equipamento). Essa unidade será equipada com um sistema de controle automatizado, refrigeração e gestão de vazão, além de um ou mais dispensadores com conexão padronizada.
- **Sistema de controle, segurança e SCADA:** integração de sensores, válvulas de corte, detectores de vazamentos, sistemas de ventilação e extinção, assim como um sistema de monitoramento remoto em tempo real (SCADA) para a operação segura do sistema.
- **Contêiner técnico modular (plug & play):** todos os sistemas serão integrados em uma estrutura compacta e transportável, permitindo sua instalação em diferentes áreas do recinto portuário sem necessidade de

obras civis intensivas. A estação poderá ser deslocada, escalada ou replicada facilmente em outras zonas do porto.

Do ponto de vista funcional, essa HRS poderá atender o abastecimento de equipamentos logísticos pesados, frotas de serviço portuário, ou até mesmo caminhões de transporte regional ou de longa distância que operem no entorno do porto. A capacidade de armazenamento diário de 450 kg coincide com o volume máximo de hidrogênio produzido pela planta de eletrólise prevista, o que permite fechar um ciclo completo de geração, armazenamento e consumo local, sem excedentes e sem necessidade de evacuação externa.

A implementação de uma infraestrutura completa de produção, armazenamento e abastecimento de hidrogênio verde no Porto de Fortaleza exige não apenas uma base tecnológica sólida, mas também um planejamento econômico rigoroso e detalhado. Esta seção apresenta o dimensionamento econômico global do sistema proposto, considerando os diferentes componentes que integram a cadeia de valor do hidrogênio: desde a eletrólise da água com energia renovável até o armazenamento intermediário e a dispensação final para aplicações portuárias ou logísticas.

O modelo adotado foi desenvolvido com base em critérios de modularidade, escalabilidade e replicabilidade, tomando como referência direta o projeto europeu H<sub>2</sub>PORTS, adaptado às condições operacionais, climáticas e regulatórias do contexto brasileiro. Como base, considera-se uma planta de eletrólise com potência nominal de 1 MW, com capacidade de produção de até 450 kg de hidrogênio por dia, além de um sistema de armazenamento em tanques de baixa pressão com capacidade equivalente para garantir a operação contínua diária. A estação de abastecimento de hidrogênio (*Hydrogen Refuelling Station – HRS*) também foi dimensionada para atender equipamentos portuários e veículos pesados.

Os custos aqui apresentados incluem todos os elementos necessários para uma solução “chave na mão”: aquisição de equipamentos, tratamento de água, sistemas de compressão, segurança, obra civil, integração e instalação. Essa abordagem oferece uma visão clara do esforço de investimento necessário para a implementação do sistema, além de auxiliar no planejamento futuro de ampliação, operação e manutenção.

A estimativa econômica proposta não é apenas uma ferramenta de análise técnica, mas também um insumo estratégico essencial para a avaliação da viabilidade financeira, captação de recursos públicos ou privados e tomada de decisões no contexto da transição energética do porto.

Tabela 7 - Estimativa de custos por bloco funcional para sistema de hidrogênio verde.

Bloco funcional	Componente	Descrição técnica	Custo estimado (R\$)
Geração	Eletrolisador PEM de 1 MW	Sistema completo, inclui stack, inversores, controle e integração. Produção: ~450 kg/dia.	R\$ 11.000.000
	Sistema de tratamento de água	Osmose reversa, para produção de ~8 m <sup>3</sup> /dia de água ultrapura.	R\$ 700.000
	Balanceamento de planta e infraestrutura	Obras civis, sistemas elétricos, refrigeração, controles e integração geral.	R\$ 2.500.000
Subtotal – Geração			<b>R\$ 14.200.000</b>
Armazenamento	3 tanques de baixa pressão (150 kg cada)	Tanques cilíndricos horizontais, em aço certificado. Capacidade total: 450 kg @ 30–40 bar.	R\$ 1.600.000
	Sistema de instrumentação e segurança	Válvulas, sensores de pressão, controle de temperatura e purga, integrados ao SCADA.	Incluído em outros blocos
Subtotal – Armazenamento			<b>R\$ 1.600.000</b>
Dispensação	Compressor de alta pressão (350–700 bar)	Compressor multietapas, refrigerado, para alimentação de dispensador para veículos ou equipamentos.	R\$ 2.000.000
	Dispensador (1 ponto de carga)	Dispensador padronizado com mangueira, acoplamento e refrigeração interna.	R\$ 600.000
	Contêiner técnico + integração	Sistema <i>plug &amp; play</i> em skid contêiner com climatização, segurança e SCADA.	R\$ 1.600.000
	Instalação e comissionamento	Transporte, licenças, montagem, documentação e capacitação.	R\$ 600.000
Subtotal – Dispensação			<b>R\$ 4.800.000</b>
TOTAL		Sistema de geração, armazenamento e abastecimento de 450 kg/dia de hidrogênio	<b>R\$ 20.600.000</b>

Fonte: Fundación Valenciaport

O Custo Nivelado do Hidrogênio (LCOH, na sigla em inglês) é o indicador econômico que expressa o custo médio por quilograma de hidrogênio produzido ao longo de toda a vida útil de uma planta, incorporando o investimento inicial

e os custos recorrentes de operação, manutenção, água e energia elétrica. Trata-se de uma métrica fundamental para avaliar a competitividade de projetos de hidrogênio renovável e compará-los com rotas convencionais baseadas em combustíveis fósseis.

No caso do Porto de Fortaleza, considera-se uma unidade de eletrólise dimensionada para produzir até 450 kg de hidrogênio por dia, o que corresponde a aproximadamente 164.250 kg por ano. Em um horizonte de 15 anos de operação, a produção acumulada estimada é de cerca de 2.463.750 kg de hidrogênio. A planta é alimentada por energia elétrica, com um consumo específico de 52,5 kWh por quilograma de hidrogênio, resultando em uma demanda anual de aproximadamente 8.621.000 kWh.

Para o cálculo econômico, adota-se o cenário de investimento mais exigente, com custo total de implantação de R\$ 20.600.000, incluindo o sistema de eletrólise, tratamento de água, tanques de armazenamento em baixa pressão e a estação de abastecimento. Aos custos de capital somam-se os custos operacionais anuais, dominados pelo gasto com eletricidade, que passa a ser de aproximadamente R\$ 4.051.870 por ano ao se considerar uma tarifa industrial de 0,47 R\$/kWh. Adicionalmente, são considerados custos anuais entre R\$ 750.000 e R\$ 1.000.000 para operação e manutenção, incluindo água ultrapura, inspeções, substituição de componentes e supervisão técnica.

Projetando esses dispêndios ao longo de 15 anos, obtêm-se cerca de R\$ 60.780.000 em custos acumulados de energia elétrica e até R\$ 15.000.000 em operação e manutenção. Somando-se o investimento inicial de R\$ 20.600.000, o custo total ao longo da vida útil atinge aproximadamente R\$ 96.380.000. Dividindo esse valor pela produção total estimada de 2.463.750 kg de hidrogênio, o LCOH calculado é da ordem de R\$ 39,10 por quilograma de hidrogênio.

Embora esse valor ainda seja superior ao do hidrogênio cinza ou azul, ele se aproxima de uma faixa mais competitiva para projetos pioneiros de média escala parcialmente conectados à rede elétrica. O componente energético responde por cerca de 63% do custo total, o que reforça a importância estratégica de utilizar, sempre que possível, a energia proveniente da usina solar projetada para o Porto de Fortaleza como fonte primária de alimentação do eletrolisador. A maior integração com geração renovável tende a reduzir gradualmente o custo do hidrogênio, aumentar sua competitividade e contribuir para posicionar o porto como um polo logístico de baixo carbono no Nordeste do Brasil.

## 5.7. Compensação

---

Uma vez aplicadas as medidas de mitigação, pode permanecer um volume residual de emissões que, devido às características próprias da atividade portuária, é de difícil eliminação. Nesses casos, podem ser considerados mecanismos de compensação.

A compensação de emissões refere-se ao processo de aquisição de créditos de carbono, gerados por projetos que absorvem ou evitam a emissão de GEE, com o objetivo de compensar as emissões que uma organização não consegue reduzir.

Cada crédito de carbono representa 1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente que foi evitada ou absorvida por meio de um projeto certificado. Caso uma organização compense a totalidade de sua pegada de carbono referente a um determinado ano, ela pode ser considerada carbono neutro nesse período.

Existem diferentes níveis de compromisso que uma autoridade portuária pode assumir em relação à compensação de emissões, de acordo com o papel que exerce, desde facilitar o acesso a créditos de carbono para as diversas organizações atuantes no porto, até gerar seus próprios créditos de compensação.

*Tabela 8 - Papéis de uma autoridade portuária na compensação de emissões.*

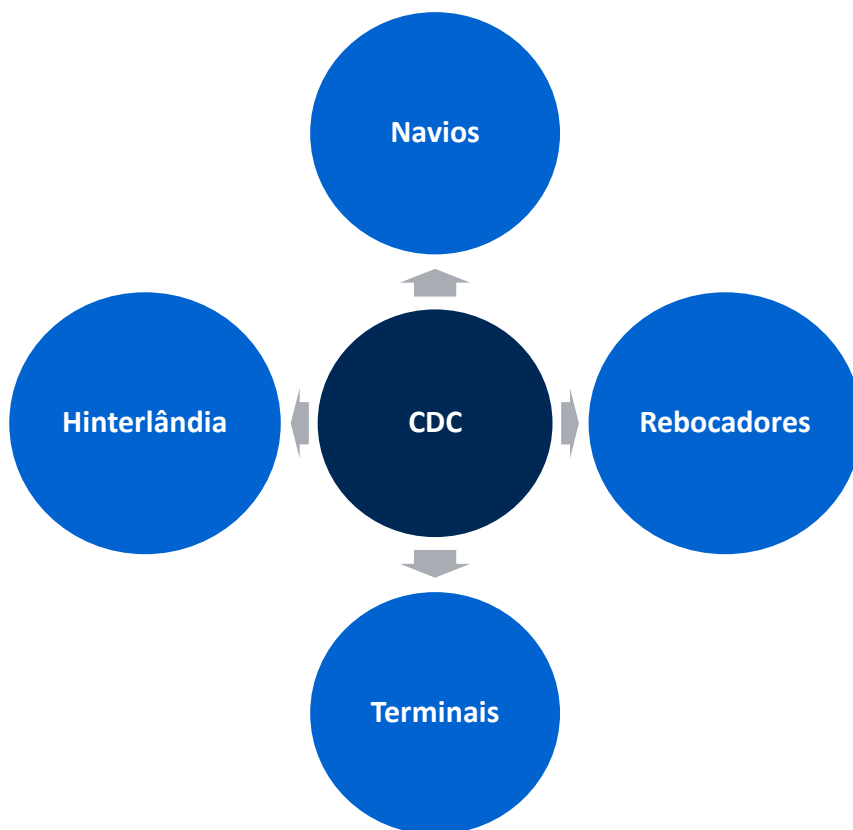
Papel	Promotor	Aglutinador	Facilitador
<b>Descrição</b>	Investimento em projetos de absorção fora do entorno portuário	Intermediário entre promotores/corretoras e a comunidade portuária	Manutenção de um portal de compra de créditos de CO <sub>2</sub> para os usuários portuários
<b>Atividades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação de projetos</li> <li>- Investimento e manutenção</li> <li>- Certificação</li> <li>- Cessão/venda de créditos</li> <li>- Criação e manutenção de plataforma de compra e venda.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação de projetos</li> <li>- Cessão/venda de créditos</li> <li>- Criação e manutenção de plataforma de compra e venda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação e manutenção de plataforma de compra e venda</li> </ul>
<b>Recursos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe da autoridade portuária em tempo integral</li> <li>- Licitações: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Auditorias</li> <li>• Plataforma</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipe da autoridade portuária em tempo parcial</li> <li>- Licitações: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Promotor/corretora</li> <li>• Plataforma</li> </ul> </li> </ul>	Licitação para o desenvolvimento do mercado

*Fonte: Fundación Valenciaport*

## 6.Plano de ação

O Plano de Ação foi estruturado a partir da perspectiva das iniciativas que a CDC pode impulsionar diretamente. Ele está organizado em quatro categorias principais — navios, rebocadores, terminais e hinterlândia — às quais se somam as medidas de responsabilidade direta da própria CDC e aquelas relacionadas às energias renováveis.

Figura 44 – Configuração do Plano de Ação



Fonte: Fundación Valenciaport

O Plano de Ação inclui medidas de caráter colaborativo e estratégico, como a criação de grupos de trabalho e a melhoria na coleta de dados, além de ações logísticas para otimizar acessos e reduzir fluxos de tráfego. Também contempla iniciativas de eletrificação e estímulo ao uso de combustíveis renováveis.

### 6.1. CDC

Na maioria dos portos, as emissões de GEE provenientes das atividades próprias das autoridades portuárias representam uma parcela relativamente pequena da pegada de carbono total. No entanto, o uso de combustíveis fósseis na frota e nos equipamentos próprios, as fugas de gases refrigerantes e o consumo de eletricidade exercem impacto nas emissões do porto.

Nesse contexto, e apesar de sua participação proporcionalmente reduzida, a CDC dispõe de diversas ações concretas que pode implementar para reduzir de forma efetiva sua própria pegada e contribuir para o processo global de descarbonização do Porto de Fortaleza.

A primeira ação proposta para a descarbonização da CDC consiste em garantir que 100% da eletricidade consumida seja proveniente de fontes renováveis, por meio da aquisição de certificados de Garantia de Origem. Essa medida permitiria que as emissões de Escopo 2 do Porto de Fortaleza fossem reduzidas a zero, eliminando completamente a pegada associada ao consumo de energia elétrica. Estima-se que a eletricidade de origem renovável tenha um custo adicional aproximado de R\$ 0,005/kWh em relação à tarifa convencional.

Além disso, com o objetivo de reduzir as emissões associadas às fontes móveis, propõe-se a substituição progressiva da frota atual de veículos a diesel e gasolina por veículos elétricos. Essa transição ocorrerá de forma gradual, aproveitando os ciclos naturais de renovação e o fim da vida útil dos veículos existentes, com a previsão de substituir pelo menos um veículo a cada cinco anos. Estima-se que a aquisição de um veículo elétrico represente um custo adicional aproximado de R\$ 50.000 em comparação com um veículo convencional.

Adicionalmente, é importante destacar que o benefício ambiental dessa medida depende de que a eletricidade utilizada para recarga seja integralmente proveniente de fontes renováveis, assegurando assim uma descarbonização real do transporte interno.

Tabela 9 – Lista de ações para a CDC

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
A1	Aquisição de eletricidade de origem 100% renovável com certificado de Garantia de Origem	1,06	0,34	1M27	2M27	CODMAN / CODCOL
A2	Articulação institucional para aquisição de veículos elétricos para colaboradores da CDC	0,5	0,01	1M30	2M30	GABPRE

Fonte: Fundación Valenciaport

## 6.2. Navios

### OPS em terminais de granéis líquidos

Recomenda-se a eletrificação dos cais de granéis líquidos por meio da implementação de sistemas OPS em conformidade com o padrão IEC/IEEE 80005-1, que estabelece o uso de infraestrutura em média tensão para demandas superiores a 1 MVA.

A tabela a seguir apresenta as potências estimadas para cada berço, juntamente com o arqueamento bruto (GT) e o comprimento (LOA) dos navios que realizaram escala em 2023:

Tabela 10 - Dados dos navios de granéis líquidos que atracaram nos berços 201 e 202 no ano de 2023.

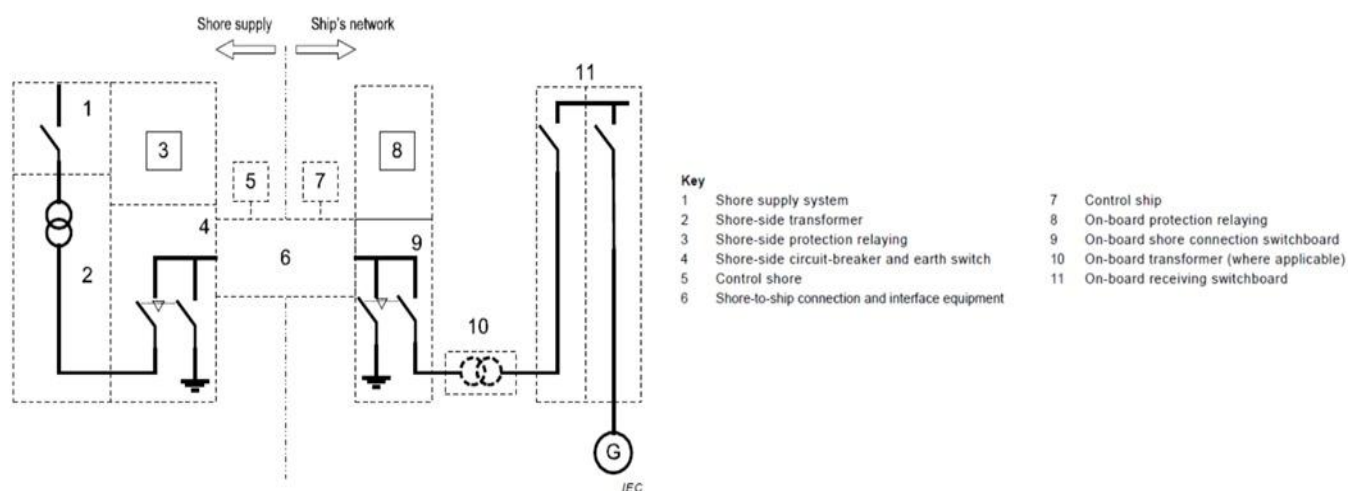
Berço	Escalas	Potência Auxiliar (kW)	Potência dos boilers (kW)	Potência total (kW)	GT (Arqueação bruta)	Comprimento (LOA) (m)
201	107	790	1.350	2.140	34.497	90
202	139	790	2.700	3.490	36.168	90

Fonte: Fundación Valenciaport

A potência mínima total requerida é de 5,63 MW, o que, considerando um fator de potência de 0,8, corresponde a aproximadamente 7,03 MVA. No entanto, a norma IEC/IEEE 80005-1 HVSC (High Voltage Shore Connection) estabelece, em seu Anexo F, que para navios-tanque, a conexão deve ser realizada por meio de três cabos, cada um composto por três fases, terra e três linhas piloto, com capacidade nominal mínima de 3,6 MVA por cabo.

Portanto, a subestação OPS destinada a alimentar o sistema a 6,6 kV deve possuir uma capacidade nominal total mínima de 10,8 MVA.

Figura 45 - Esquema geral de conexão OPS em média tensão.



Fonte: IEC 80005-1. High Voltage Shore Connection. General Requirements

Propõe-se a instalação de uma subestação OPS única, com 10,8 MVA de capacidade nominal, para abastecer simultaneamente os berços 201 e 202. Para sua alimentação, será necessária uma linha de média tensão com potência contratada de 11 MVA.

Recomenda-se que a subestação OPS apresente as seguintes características:

- A subestação deve incluir pelo menos três transformadores, aterrados, para garantir o isolamento galvânico nas três linhas de alimentação destinadas aos berços.

- Além disso, deve contar com um quadro de distribuição para operação e sistemas de proteção.
- Caso a rede elétrica dos navios opere a 60 Hz, não é necessário instalar um conversor de frequência.
- Deve-se considerar a opção de endereçamento da potência, permitindo que a capacidade total seja utilizada em um, dois ou três berços simultaneamente.

O potencial de redução de emissões associado à eletrificação dos berços 201 e 202 depende tanto do grau de adoção do OPS pelos navios quanto do nível de eletrificação das caldeiras. Neste estudo, assume-se uma adoção progressiva, com aumento anual no percentual de escalas utilizando o OPS.

Figura 46 - Exemplo de instalação OPS para navios-tanque: Projeto The Green Cable para embarcações tanque no Porto de Gotemburgo.



Fonte: Port of Gothenburg.

Na Europa, o custo aproximado de um sistema OPS, desde a subestação até o equipamento de gestão de cabos no cais, é de cerca de 1.000 k€ por MVA quando inclui conversor de frequência. Quando o conversor não é necessário, o custo é reduzido em aproximadamente 40%, passando a cerca de 600 k€ por MVA.

$$10,8 \text{ MVA} \times 600 \text{ k€} = 6,48\text{M€} \text{ (40,03 MR\$)}$$

Este cálculo não inclui a linha de alimentação em média tensão. A infraestrutura considerada abrange apenas o trecho da subestação OPS até os sistemas de gestão de cabos nos dois berços.

### OPS em terminais de contêineres

Recomenda-se a eletrificação dos cais de contêineres por meio da implementação de sistemas OPS em conformidade com o padrão IEC/IEEE 80005-1, que estabelece o uso de infraestrutura em média tensão para demandas superiores a 1 MVA.

A tabela a seguir apresenta as potências estimadas para cada berço, juntamente com o arqueamento bruto (GT) e o comprimento (LOA) dos navios que realizaram escala em 2023:

Tabela 11 - Dados dos navios de graneis líquidos que atracaram nos berços 105 e 106 no ano de 2023.

Berço	Escalas	Potência Auxiliar (kW)	Potência dos boilers	Potência total (kW)	GT (Arqueação bruta)	Comprimento (LOA) (m)
105	35	820	460	1.280	27.571	270
106	90	1.100	480	1.580	40.772	350

Fonte: Fundación Valenciaport

A potência mínima total requerida é de 2,86 MW, o que equivale a aproximadamente 3,58 MVA, considerando um fator de potência de 0,8. No entanto, a IEC/IEEE 80005-1 HVSC, em seu anexo específico para navios porta-contêineres, estabelece que cada ponto OPS deve ser capaz de fornecer 7,5 MVA nominais, independentemente da potência auxiliar atual dos navios que operam no porto. Por esse motivo, recomenda-se dimensionar toda a infraestrutura OPS de acordo com o padrão, garantindo compatibilidade com porta-contêineres de maior porte e com os requisitos elétricos internacionais.

Cada conexão deve ser realizada por meio de um conjunto de cabos trifásicos, com condutor de terra e linhas piloto, e a subestação de média tensão a montante deve ser dimensionada para assegurar o fornecimento conforme os requisitos de isolamento, proteção e capacidade exigidos por essa tipologia de embarcações. Propõe-se a instalação de uma única subestação OPS, com a seguinte capacidade, de acordo com o grau de ambição:

- **Eletrificação apenas do berço 106 → 7,5 MVA.**
- **Eletrificação dos berços 105 e 106 → 15 MVA no total.**

A alimentação exigirá uma linha de média tensão com 7,5 MVA ou 15 MVA de potência contratada, conforme o nível de ambição adotado. Recomenda-se que a subestação OPS tenha as seguintes características:

- A subestação deve incluir pelo menos três transformadores, aterrados, para garantir o isolamento galvânico nas três linhas de alimentação destinadas aos berços.
- Além disso, deve contar com um quadro de distribuição para operação e sistemas de proteção.
- Caso a rede elétrica dos navios opere a 60 Hz, não é necessário instalar um conversor de frequência.
- Deve-se considerar a opção de endereçamento da potência, permitindo que a capacidade total seja utilizada em um, dois ou três berços simultaneamente.

A redução potencial de emissões depende do percentual de escalas que utilizem o OPS e do grau de eletrificação das caldeiras. No estudo, considera-se uma adoção de 80% de OPS em porta-contêineres em 2028, com um aumento anual de 10%, o que implica uma eletrificação praticamente total em 2030.

Para que a eletrificação do berço 105 seja realmente eficiente do ponto de vista energético, ambiental e econômico, será necessário reorganizar, na medida do possível, o tráfego de porta-contêineres, concentrando-o preferencialmente nos berços 106 e 105. Isso permitiria garantir um volume suficiente de escalas compatíveis com OPS que justifique o investimento.

Na Europa, o custo aproximado de um sistema OPS, desde a subestação até o equipamento de gestão de cabos no cais, é de cerca de 1.000 k€ por MVA quando inclui conversor de frequência. Se o conversor não for necessário, o custo é reduzido em aproximadamente 40%, chegando a cerca de 600 k€ por MVA.

$$2 \times 7,5 \text{ MVA} \times 600 \text{ k€} = 2 \times 4,5\text{M€} = 9\text{M€} \text{ (55,61 MR\$)}$$

Este cálculo não inclui a linha de alimentação de média tensão. A infraestrutura considerada abrange apenas o trecho da subestação OPS até os sistemas de gestão de cabos nos dois berços.

### Outras Ações

Recomenda-se iniciar pela melhoria na coleta de dados na solicitação de escalas (preparação para OPS e consumo de combustível), seguida da implantação de ferramentas de gestão portuária. As ações N2, N3 e N4 — gestão de escalas, prioridade de atracação e tarifa verde, devem ser analisadas de forma integrada, pois geram sinergias operacionais e permitem aplicar incentivos coerentes aos navios de baixa emissão. Em uma segunda fase, será necessário atualizar a rede elétrica, por meio de um estudo detalhado e da ampliação da rede de média tensão. Por fim, deverá ser consolidado um sistema de incentivos que favoreça as companhias de navegação que utilizem soluções descarbonizadas.

Tabela 12 – Lista de ações para navios.

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
N1	Melhoria na coleta de dados das escalas	0,6	0	1M26	2M26	Operações, Digitalização
N2	Implementação de um sistema de gestão de escalas	0,3	0	1M26	2M26	Operações, Digitalização
N3	Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono	0,25	664,06	1M26	2M26	Operações, Digitalização
N4	Implementar projeto tarifa verde para os navios	6,0	1.641,73	1M27	2M27	Operações, Digitalização
N5	Estudo técnico da atualização da rede elétrica de Fortaleza	0,93	0	1M26	1M27	Infraestruturas
N6	Ampliar a rede de média tensão	88,35	0	1M27	2M27	Infraestruturas
N7	Eletrificação de cais para granéis líquidos	43,27	21.476,78	1M29	1M30	Infraestruturas
N8	Eletrificação de cais 105 portacontêineres	30,88	2.657,44	1M34	1M35	Infraestruturas
N9	Eletrificação de cais 106 portacontêineres	31,06	7.979,28	1M28	1M29	Infraestruturas

Fonte: Fundación Valenciaport

Uma parte relevante das emissões associadas à atividade portuária é gerada na área de fundeio, onde os navios mantêm seus motores auxiliares em operação enquanto aguardam atracação. Em 2023, as emissões em fundeio do Porto de Fortaleza totalizaram 11.509,77 tCO<sub>2</sub>eq. Entretanto, atuar sobre essas emissões é particularmente

complexo, pois sua redução depende, em grande medida, de fatores operacionais e estruturais. Embora seja discutível se esta é uma área em que se recomendam ações — já que muitas vezes está fora do escopo direto de atuação das autoridades portuárias — apresentam-se duas opções baseadas em *power-barge* que podem ser de interesse:

**Fundeio – Solução BlueBARGE:**

- Fornecimento máximo por escala: energia utilizada pelos geradores auxiliares durante o fundeio – capacidade máxima de fornecimento de 35 MWh.
- Uma barcaça só pode atender uma embarcação por vez, devendo depois recarregar ou trocar a bateria antes de realizar um novo atendimento.

**Fundeio – Solução Elementa:**

- Fornecimento máximo por escala: energia utilizada pelos geradores auxiliares durante o fundeio – capacidade máxima de fornecimento de 48 MWh.
- Uma barcaça só pode atender uma embarcação por vez e, posteriormente, reabastecer-se de H<sub>2</sub>.

### 6.3. Rebocadores

---

A formação de um grupo de trabalho entre os operadores de rebocadores teria como objetivo incentivar ações que contribuam para a redução do consumo de combustível, como a diminuição do tempo de motor em marcha lenta, o aprimoramento do planejamento das manobras e a disseminação de boas práticas operacionais. Essas iniciativas resultariam em menor emissão durante a operação desses navios. Estima-se uma redução de 3% das emissões em relação às emissões de base de cada ano, decorrente da implementação dessa medida.

Da mesma forma, a aquisição de um sistema de monitoramento de biofouling pode gerar reduções significativas de emissões, já que esse é um fator relevante para o aumento do consumo de combustível. A operação dessa medida envolve a realização de capacitações, ações de manutenção e substituição de componentes, além da designação de pessoal responsável pela análise dos dados de consumo de combustível dos rebocadores, com o objetivo de identificar as embarcações que possivelmente apresentem altos níveis de biofouling. Estima-se uma redução entre 10% e 15% em relação às emissões de base com a implementação dessa medida, com um custo inicial de 17.500 USD (0,094 MR\$) e custos operacionais de 3.500 USD/ano (0,019 MR\$).

Da mesma forma, promover a eletrificação dos rebocadores, por meio da instalação de pontos de recarga no Porto de Fortaleza, pode gerar uma redução significativa da pegada de carbono dessas embarcações, considerando seus perfis operacionais típicos, que incluem uma alta proporção de tempo atracados. Caso sejam instalados 30 pontos de recarga de 40 kVA, estima-se um custo de instalação de 600.000 USD (3,2 MR\$), considerando um valor de 500 USD/kW instalado. Além disso, considera-se um custo anual de manutenção de 5% desse investimento inicial.

No entanto, para que a redução de emissões seja realmente efetiva, é fundamental garantir que a eletricidade utilizada seja de origem renovável. Esse ponto, assim como outras variáveis, autonomia dos rebocadores, potência necessária e tempos de recarga, deve ser estudado de maneira detalhada. Embora não se trate de uma ação que gere redução direta e imediata de emissões, ela permitirá direcionar adequadamente o processo de eletrificação desse segmento.

Por fim, o estabelecimento de um programa de certificação verde implica custos anuais destinados à revisão contínua da operação dos rebocadores, para verificar a adoção de boas práticas de eficiência e a implementação de iniciativas voltadas ao uso de fontes energéticas alternativas, como combustíveis de baixo carbono ou eletrificação. Esse esforço contínuo é estimado em 0,15 MR\$/ano, resultando em uma redução anual de 10% em relação às emissões de base.

Tabela 13 – Lista de ações para Rebocadores

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
R1	Grupo de trabalho para a descarbonização de rebocadores	1,2	0,188	1M27	2M27	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
R2	Programas de monitoramento de bioincrustação	0,69	0,933	1M28	2M28	CODSMS
R3	Estudo de viabilidade do rebocador elétrico	0,18	0	1M27	2M27	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
R4	Fornecimento de eletricidade durante a espera	6,75	2,332	1M27	2M27	CODMAN / CODINF
R5	Programa de certificação ambiental para rebocadores	3,6	0,626	1M27	2M27	CODSMS

Fonte: Fundación Valenciaport

## 6.4. Terminais

As emissões geradas pelas operações de carga e descarga representam apenas uma pequena fração das emissões totais do porto, mas ainda há oportunidades para reduzir as emissões das empresas operadoras. Para que um plano de descarbonização seja bem-sucedido e eficaz, é fundamental envolver toda a comunidade portuária.

A CDC pode desenvolver ações direcionadas à redução das emissões de operadores, arrendatários, terminais e concessionários. Uma primeira iniciativa consiste em aprimorar a coleta de dados para o cálculo da pegada de carbono e divulgar os resultados desse cálculo, o que pode incentivar todas as empresas a realizarem esforços para reduzir suas emissões (T1). Considera-se que a aplicação dessa medida permite alcançar uma redução de 1% das

emissões de GEE. Estima-se um custo anual de implementação de R\$ 10.000 a partir de 2026. Esta medida é considerada nos cálculos de ambos os cenários, conservador e otimista.

A instalação de medidores de consumo de energia elétrica individualizados para cada usuário contribui para uma alocação correta de consumos e emissões, além de aumentar a consciência ambiental (T2). Com esta medida, estima-se a redução de 5% das emissões decorrentes do consumo de eletricidade não renovável por parte dos operadores. Assume-se um custo de R\$ 100.000 em 2026 e custo nulo no restante do período do plano. Esta medida também é considerada em ambos os cenários.

Para os usuários aos quais a CDC fornece energia elétrica, propõe-se que essa eletricidade seja de origem renovável, com emissões zero, comprovada por meio do respectivo certificado (T3). Com esta iniciativa, assume-se que toda a eletricidade consumida no porto passa a ser renovável, reduzindo assim 100% das emissões associadas. Devido às características do mercado elétrico nacional, esse fornecimento não gera custos adicionais, pois a energia renovável não é necessariamente mais cara que a não renovável. Esta medida é considerada apenas no cenário otimista a partir de 2028.

Para estimular as empresas a adotarem ações de redução de emissões, podem ser concedidos descontos nos contratos de arrendamento para aquelas que utilizarem eletricidade renovável (T4). No cenário otimista, considera-se que todos os usuários consomem eletricidade renovável, eliminando 100% das emissões associadas à eletricidade. O custo da medida para a CDC decorre da perda de receita nos contratos de arrendamento, estimado em R\$ 1 milhão anuais. No cenário conservador, considera-se a redução de apenas 50% do consumo de eletricidade não renovável, restando ainda 50% das emissões. Nesse caso, o custo da medida é de R\$ 0,5 milhão anuais. Assume-se que a medida começa a ser aplicada em 2029.

Da mesma forma, propõe-se estabelecer descontos nos contratos de arrendamento das empresas que reduzirem o uso de combustíveis não renováveis em seus equipamentos e puderem comprová-lo (T5). Consideram-se dois cenários: no otimista, 100% do diesel consumido pelos equipamentos é substituído por biodiesel, com menos emissões de GEE, gerando para a CDC um custo anual de R\$ 1 milhão devido à redução de receitas dos arrendamentos. No cenário conservador, assume-se que apenas 50% dos equipamentos passam a operar com biodiesel, com custo anual de R\$ 0,5 milhão. Supõe-se que a medida seja implementada a partir de 2030, permitindo tempo suficiente para que os usuários planejem a transição de combustível.

Outra iniciativa é a simplificação dos procedimentos para os operadores que desejarem instalar sistemas de energia fotovoltaica ou outras fontes renováveis (T6). Essa medida contribui para a redução da demanda de energia elétrica por parte dos operadores e, portanto, para a redução das emissões associadas, estimada em 5%. Para fins de cálculo, esta medida é considerada apenas no cenário otimista, a partir de 2027, com um custo de R\$ 10.000.

Além disso, propõe-se incluir critérios de sustentabilidade — que considerem a eficiência energética — nos novos contratos de concessão e arrendamento, bem como nas revisões dos contratos existentes (T7). Assume-se que essa medida incentiva uma redução de 10% das emissões dos operadores. Esta ação é considerada apenas no cenário otimista, não gera custos para a CDC e se aplica a um novo contrato de arrendamento, ou à revisão de um já existente, a cada dez anos: em 2030, 2040 e 2050.

Tabela 14 – Lista de ações para Terminais

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
T1	Melhoria na coleta de dados dos operadores	0,25	0,095	1M26	2M26	CODSMS / CODGEN
T2	Instalação de medidores separados para cada terminal/operador	0,10	0,033	1M26	2M26	CODMAN
T3	Fornecimento de eletricidade renovável aos operadores	0,0	2,34	1M28	2M28	CODMAN
T4	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de eletricidade renovável (com certificado)	22,0	2,34	1M29	2M29	CODSMS / CODGEN
T5	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de combustíveis de baixas emissões	21,0	0,41	1M30	2M30	CODSMS / CODGEN / CODGEP
T6	Simplificação do processo de instalação de energia renovável para operadores portuários	0,24	0,18	1M27	2M27	CODGEN / CODGEP
T7	Incluir critérios de sustentabilidade nos novos contratos de concessão	0,0	0,36	1M30	2M30	CODGEN / CODJUR

Fonte: Fundación Valenciaport

## 6.5. Caminhões

Embora o transporte rodoviário não constitua uma das principais fontes de emissões do Porto de Fortaleza, a CDC pode influenciar sua gestão para melhorar a eficiência e reduzir impactos locais. Por meio de uma melhor coordenação com os atores do transporte terrestre, de uma compreensão mais profunda do hinterlândia e da incorporação de critérios ambientais na gestão do tráfego pesado, a CDC pode favorecer uma mobilidade mais sustentável e uma circulação mais eficiente de caminhões, beneficiando tanto a operação portuária quanto o seu entorno e a rede logística regional.

Nesse sentido, a primeira medida proposta para abordar as emissões associadas aos caminhões é a criação de um grupo de trabalho de transporte logístico, no qual a CDC colaboraria de forma estreita com as empresas de transporte rodoviário que atuam no Porto de Fortaleza. Esse grupo permitirá identificar oportunidades de melhoria, compartilhar boas práticas, promover a renovação tecnológica e coordenar ações que otimizem as operações logísticas, reduzindo assim o impacto ambiental dos caminhões. Estima-se que, graças à conscientização gerada e à implementação de pequenas iniciativas derivadas desse trabalho conjunto, possa ser alcançada uma redução de

emissões próxima de 2%. Para o seu funcionamento, considera-se um orçamento anual aproximado de R\$ 30.000, destinado à organização de algumas reuniões ao longo do ano, incluindo a participação de especialistas externos.

Na mesma linha, propõe-se a realização de um estudo do hinterlândia e do potencial de desenvolvimento de corredores verdes, com o objetivo de identificar rotas, fluxos logísticos e oportunidades para promover soluções de transporte de baixas emissões no segmento terrestre associado ao Porto de Fortaleza. Embora essa medida não gere reduções diretas de emissões por si só, ela fornecerá o conhecimento técnico e estratégico necessário para estruturar futuras ações de maior impacto, orientadas à descarbonização da cadeia logística como um todo. Estima-se que a elaboração desse estudo tenha um custo aproximado de R\$ 300.000.

Além disso, propõe-se a implementação de um esquema de categorização e rotulagem verde para caminhões, por meio do qual a CDC poderá classificar e reconhecer os veículos que apresentem melhor desempenho ambiental, incentivando assim a adoção de tecnologias mais limpas e práticas operacionais mais eficientes. Esse sistema permitirá direcionar a gestão do tráfego pesado com base no desempenho ambiental e promover a renovação progressiva da frota que opera no Porto de Fortaleza. Estima-se que a implementação desse esquema possa gerar reduções de emissões próximas de 5%, em razão dos incentivos e da melhoria do comportamento operacional. O custo inicial de implementação é estimado em 100.000 USD (R\$ 539.693), enquanto o custo anual de manutenção ficaria em torno de 20.000 USD (R\$ 107.938).

Por fim, propõe-se a implementação de um sistema inteligente de gestão dos acessos ao porto (Pré-Gate), que permita otimizar a entrada e a saída de caminhões, reduzindo tempos de espera e minimizando a ocorrência de congestionamentos dentro do recinto portuário. Essa medida contribuiria diretamente para a redução das emissões dos caminhões no Porto de Fortaleza, ao melhorar a eficiência dos deslocamentos e diminuir o consumo de combustível em marcha lenta. Estima-se que a adoção desse sistema possa gerar uma redução de emissões de cerca de 10%. O custo de implementação é calculado em 100.000 USD (R\$ 539.693), enquanto a manutenção anual é estimada em 20.000 USD (R\$ 107.938).

*Tabela 15 – Lista de ações para Caminhões*

#	Ação	Orçamento(MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
C1	Grupo de Trabalho de Transporte Terrestre	0,72	0,01	1M27	2M27	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
C2	Estudo da Hinterlândia e do Potencial para Corredores Verdes	0,3	0	1M27	2M27	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
C3	Sistema de Categorização e Rotulagem Verde de Caminhões	1,3	0,02	1M28	2M28	CODGEP / CODSMS
C4	Implementação de Sistema Inteligente de Gestão dos Acessos ao Porto (Pré-Gate)	2,85	0,03	1M29	2M29	CODGEP

*Fonte: Fundación Valenciaport*

## 6.6. Ferrovias

Dado que as emissões associadas ao transporte ferroviário representam uma fração muito reduzida da pegada de carbono do Porto de Fortaleza, o baixo grau de desenvolvimento de alternativas tecnológicas e o potencial para ampliar o diálogo entre as operadoras e a CDC, sugere-se concentrar esforços em comunicação e inovação.

Nesse sentido, propõe-se a criação de um grupo de trabalho de logística e digitalização das operações ferroviárias, no qual a CDC colaboraria com as operadoras ferroviárias para trocar experiências, fomentar boas práticas e explorar oportunidades de inovação tecnológica na gestão dos fluxos de carga. Embora essa medida, por si só, não gere reduções diretas de emissões, ela permitiria estabelecer as bases para ações futuras mais eficientes e sustentáveis no transporte ferroviário do Porto de Fortaleza, melhorando a planejamento, a coordenação e a digitalização das operações. Estima-se que o esforço necessário seja baixo, com um custo anual aproximado de R\$ 5.000, destinado à logística e à participação de especialistas nas reuniões do grupo.

Além disso, recomenda-se aumentar a participação do modal ferroviário no transporte de carga do Porto de Fortaleza em relação ao transporte rodoviário, uma vez que o trem apresenta maior eficiência em termos de emissões por tonelada transportada.

Tabela 16 – Lista de ações para ferrovias

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
F1	Grupo de trabalho de logística e digitalização das operações ferroviárias	0,12	0	1M27	2M27	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS

Fonte: Fundación Valenciaport

## 6.7. Energia renovável

No escopo das iniciativas voltadas à ampliação do uso de fontes renováveis foram selecionadas ações com potencial direto de mitigação e aderência às condições operacionais do Porto de Fortaleza apresentadas a seguir

A ação E1 refere-se à implantação de um sistema de geração fotovoltaica acoplado a armazenamento no Porto de Fortaleza com o objetivo de ampliar o suprimento de energia renovável para as operações portuárias reduzindo a dependência da rede elétrica e minimizando o vertimento de energia solar. A análise energética demonstrou que a combinação entre a planta solar de 3,23 MW e o sistema de baterias de 1 MW e 6397 kWh possibilita recuperar mais de 1800 MWh por ano que seriam desperdiçados sem armazenamento aumentando significativamente o autoconsumo renovável. A partir desse ganho estimou-se um potencial de redução anual de aproximadamente 0,158

kilotoneladas de CO<sub>2</sub> resultado da substituição direta de eletricidade adquirida da rede por energia renovável local. O investimento total previsto de 43 milhões de reais inclui a ampliação da infraestrutura elétrica as baterias e os sistemas de controle necessários para garantir operação contínua e segura. A ação está programada para iniciar em 2028 com horizonte de operação até 2050 permitindo ganhos cumulativos expressivos de redução de emissões ao longo de mais de duas décadas.

A ação E2 consiste na implantação de uma unidade de produção de hidrogênio verde dimensionada para operar com base no excedente renovável gerado localmente e complementarmente com energia da rede quando necessário. A planta considerada conta com capacidade para produzir até 450 quilogramas por dia totalizando cerca de 150 mil quilogramas anuais de hidrogênio volume suficiente para substituir parte dos combustíveis fósseis atualmente utilizados em equipamentos logísticos portuários, veículos de apoio e aplicações auxiliares. O cálculo do potencial de redução anual de emissões resulta em aproximadamente 0,21 kilotoneladas de CO<sub>2</sub> considerando a substituição do diesel consumido por cerca de dez máquinas logísticas representativas do perfil operacional do porto. O orçamento estimado de 12,6 milhões de reais contempla o eletrolisador, o tratamento de água, o armazenamento em baixa pressão e a estação de abastecimento. A implementação está planejada para iniciar em 2035 após a consolidação das etapas iniciais de expansão solar permitindo que o hidrogênio seja produzido de forma mais eficiente e com maior participação renovável ao longo do período até 2050.

Tabela 17 – Lista de Ações de Energias Renováveis.

#	Ação	Orçamento (MR\$)	Potencial de redução/ano (kt CO <sub>2</sub> )	Início	Fim	Departamento
E1	Consumo de energia proveniente de fonte fotovoltaica	43	0,158	1M28	2M28	Meio Ambiente
E2	Produção de hidrogênio verde	12,6	0,21	1M35	2M35	Meio Ambiente

Fonte: Fundación Valenciaport

## 6.8. Cenários

Para avaliar o impacto potencial do plano de descarbonização, foram definidos diferentes cenários de implementação, de acordo com o grau de adoção das medidas propostas. Das 30 ações identificadas, selecionaram-se aquelas que apresentam impacto quantificável na redução de emissões e que permitem modelar dois níveis de ambição:

- **Cenário conservador**, que assume uma adoção parcial ou mais gradual das medidas, resultando em reduções moderadas de emissões; e

- **Cenário otimista**, que contempla a implementação total das ações e as reduções máximas possíveis das emissões de GEE.

Além disso, foram incluídas 7 ações de preparação que, embora não resultem em reduções diretas de emissões, são necessárias para viabilizar ou facilitar a adoção de medidas mais ambiciosas. A tabela a seguir lista as diferentes ações por atividade e indica se foram consideradas para a fase de preparação (PRE), para o cenário conservador (CON) e/ou para o cenário otimista (OPT).

Tabela 18 – Medidas de descarbonização propostas para o Porto de Fortaleza e seus respectivos cenários.

Atividade	#	Ação	PRE	CON	OPT
CDC	A1	Aquisição de eletricidade de origem 100% renovável com certificado de Garantia de Origem			
	A2	Articulação institucional para aquisição de veículos elétricos para colaboradores da CDC			
Navios	N1	Melhoria na coleta de dados das escalas			
	N2	Implementação de um sistema de gestão de escalas			
	N3	Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono			
	N4	Implementação do projeto de tarifa verde para navios			
	N5	Estudo técnico para atualização da rede elétrica de Fortaleza			
	N6	Ampliação da rede de média tensão			
	N7	Eletrificação do cais para granéis líquidos			
	N8	Eletrificação do cais 105 (porta-contêineres)			
	N9	Eletrificação do cais 106 (porta-contêineres)			
Rebocadores	R1	Grupo de trabalho para a descarbonização de rebocadores			
	R2	Programas de monitoramento de bioincrustação			
	R3	Estudo de viabilidade para rebocador elétrico			
	R4	Fornecimento de eletricidade durante o período de espera (fundeio)			
	R5	Programa de certificação ambiental para rebocadores			
Terminais	T1	Melhoria na coleta de dados dos operadores			
	T2	Instalação de medidores separados para cada terminal/operador			
	T3	Fornecimento de eletricidade renovável aos operadores			
	T4	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de eletricidade renovável (com certificado)			
	T5	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de combustíveis de baixas emissões			
	T6	Simplificação do processo de instalação de energia renovável para operadores portuários			
	T7	Inclusão de critérios de sustentabilidade nos novos contratos de concessão			
Caminhões	C1	Grupo de Trabalho de Transporte Terrestre			
	C2	Estudo do hinterlândia e do potencial para corredores verdes			
	C3	Sistema de categorização e rotulagem verde para caminhões			
	C4	Implementação de sistema inteligente de gestão dos acessos ao porto (Pré-Gate)			
Ferrovias	F1	Grupo de trabalho de logística e digitalização das operações ferroviárias			
Energias Renováveis	E1	Consumo de energia proveniente de fonte fotovoltaica			
	E2	Fomento para que os terminais utilizem máquinas movidas a hidrogênio verde produzido no porto			

Fonte: Fundación Valenciaport

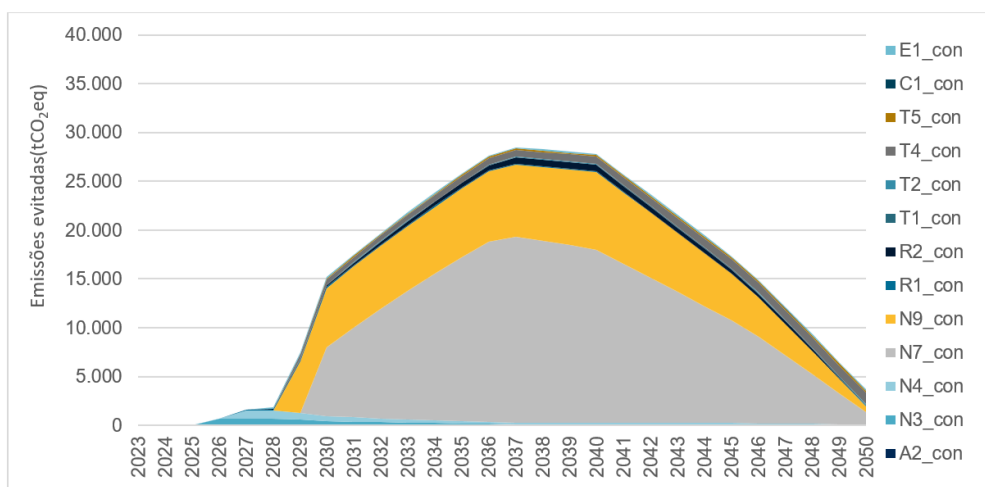
### 6.8.1. Cenário conservador

No cenário conservador, as ações propostas resultam em uma redução anual de emissões significativa entre 2030 e 2041, alcançando um pico superior a 28 ktCO<sub>2</sub>eq evitadas em 2037, conforme indicado na figura a seguir. A partir desse marco, o impacto das medidas direcionadas a navios e rebocadores tende a diminuir, uma vez que grande parte dessas embarcações já terá adotado tecnologias de baixo carbono, em conformidade com as diretrizes da Organização Marítima Internacional (OMI).

Nesse contexto, as ações voltadas aos terminais e ao transporte rodoviário passam a ganhar relevância progressiva na carteira de descarbonização do Porto de Fortaleza, assumindo um papel estratégico na continuidade da trajetória de mitigação das emissões do complexo portuário até 2050.

Esse cenário representa um avanço moderado, porém possivelmente mais realista, considerando as limitações técnicas, econômicas e de governança que podem retardar a adoção de determinadas tecnologias ou mudanças operacionais no Porto de Fortaleza. O gráfico a seguir apresenta as emissões anuais evitadas por cada medida no cenário conservador:

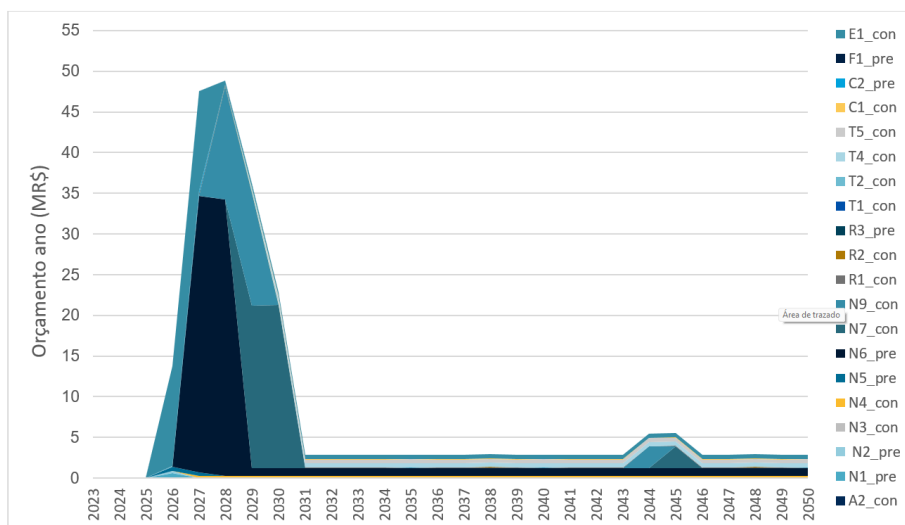
Figura 47 - Emissões evitadas por medida no cenário conservador.



Fonte: Fundación Valenciaport.

As maiores inversões estão previstas entre 2026 e 2030, alcançando cerca de R\$ 14,8 milhões por ano. Em 2044, ocorre um novo pico de investimentos devido ao acondicionamento da instalação de OPS.

Figura 48 - Investimentos previstos por medida no cenário conservador

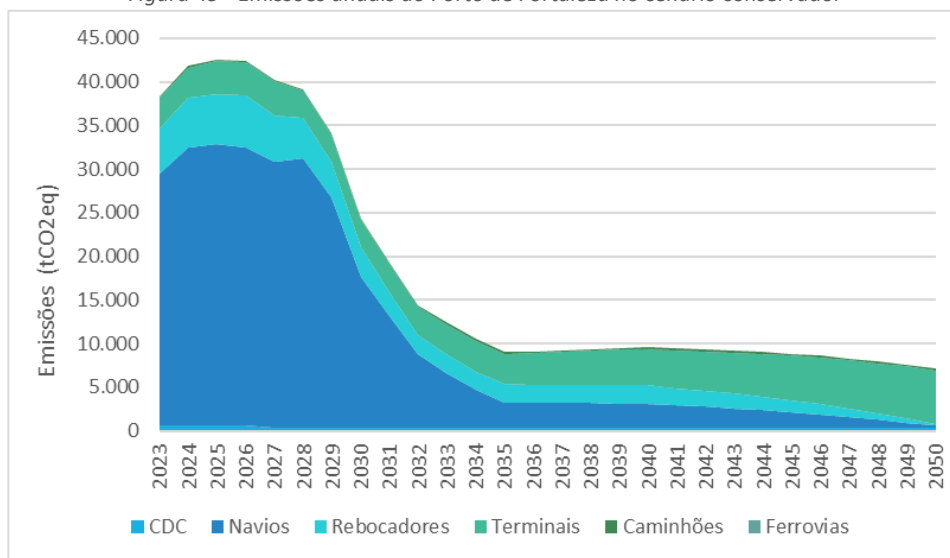


Fonte: Fundación Valenciaport

Como resultado da implementação das medidas de redução e dos investimentos correspondentes, no cenário conservador é possível manter as emissões anuais do Porto de Fortaleza abaixo de 45 kt de CO<sub>2</sub>eq em todos os momentos, mesmo nos anos de maior atividade. Para 2050, as emissões caem para aproximadamente 10 kt, o que representa uma redução de 25% em comparação com o cenário tendencial (*Business as Usual*).

Embora esse cenário preveja uma implementação gradual e mais limitada das medidas propostas, ele permite avançar rumo a um modelo portuário mais sustentável e resiliente, estabelecendo as bases para melhorias futuras.

Figura 49 - Emissões anuais do Porto de Fortaleza no cenário conservador



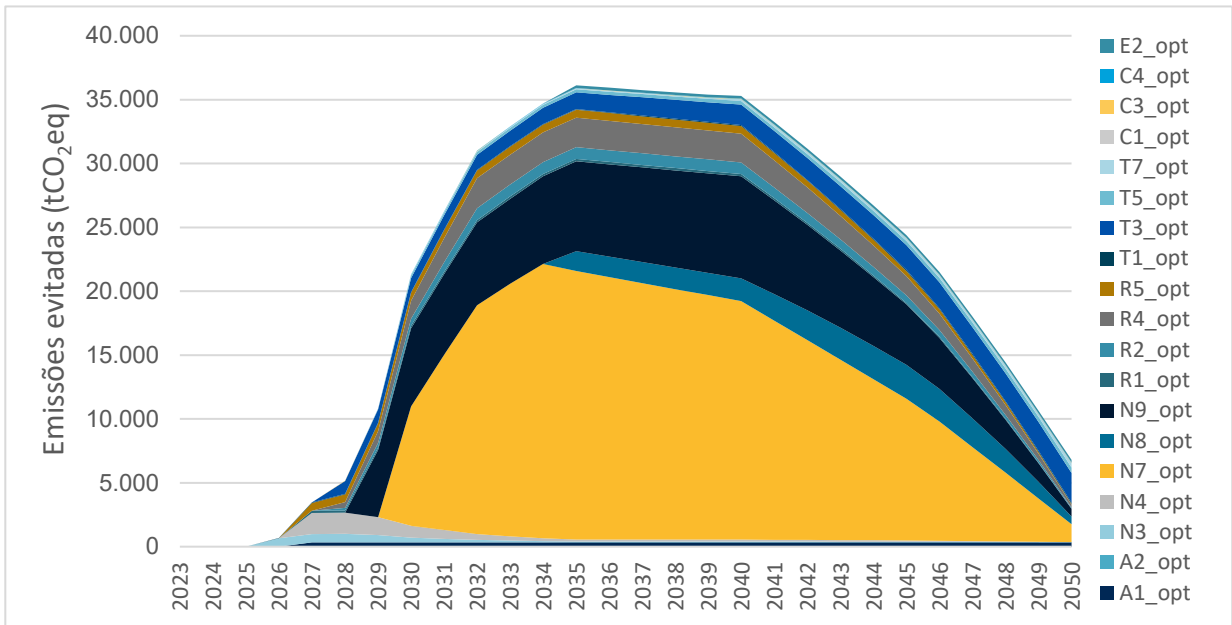
Fonte: Fundación Valenciaport.

### 6.8.2. Cenário otimista

No cenário otimista, considera-se a adoção ampla e acelerada das medidas de descarbonização propostas, com maior ambição e eficiência em sua implementação. Nessas condições, a redução anual de emissões de GEE atinge seu pico por volta de 2035, superando 36 ktCO<sub>2</sub>eq.

A partir desse ponto, observa-se uma diminuição gradual no ritmo de redução anual, principalmente devido à transformação progressiva da frota de navios e rebocadores para tecnologias de baixa ou zero emissão, o que reduz o potencial marginal de mitigação nessas categorias à medida que as principais fontes de emissões vão sendo substituídas ou otimizadas.

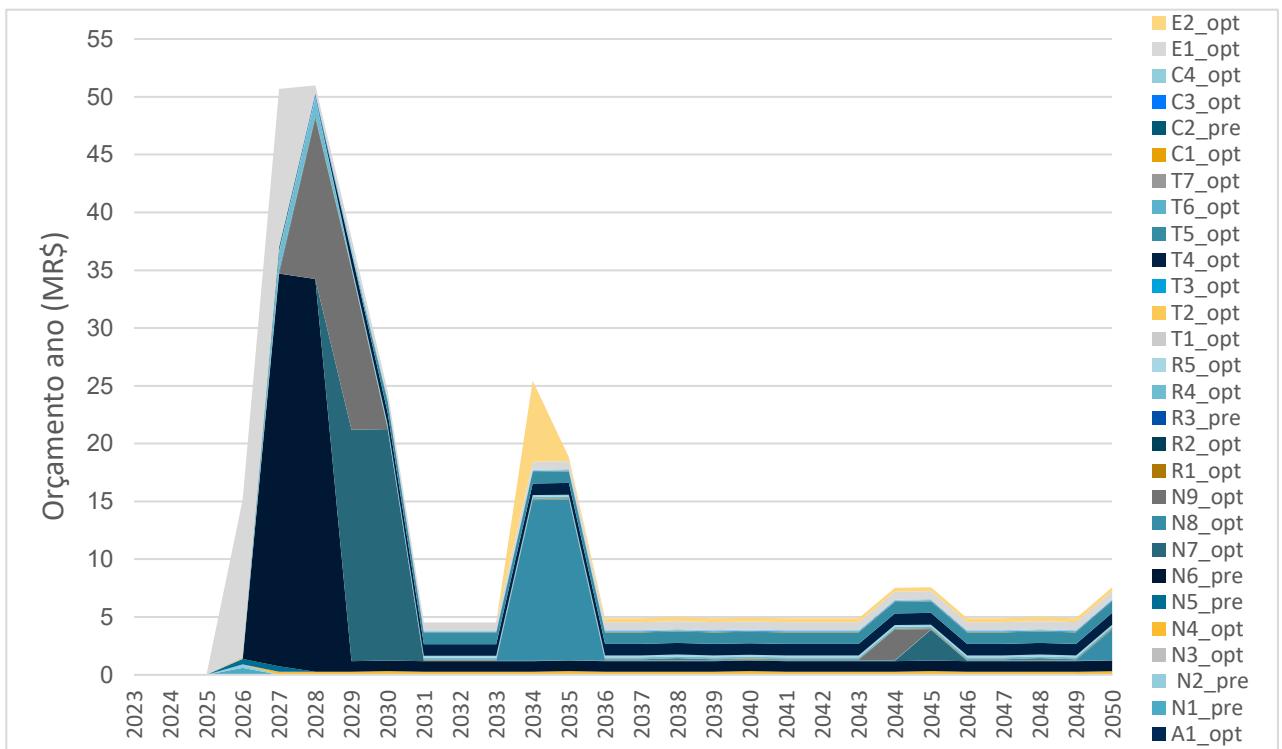
Figura 50 – Emissões evitadas por medida no cenário otimista.



Fonte: Fundación Valenciaport.

As maiores inversões estão previstas entre 2027 e 2029, superando R\$ 50 milhões por ano. Em 2044, ocorre um novo pico de investimentos devido ao acondicionamento da instalação de OPS.

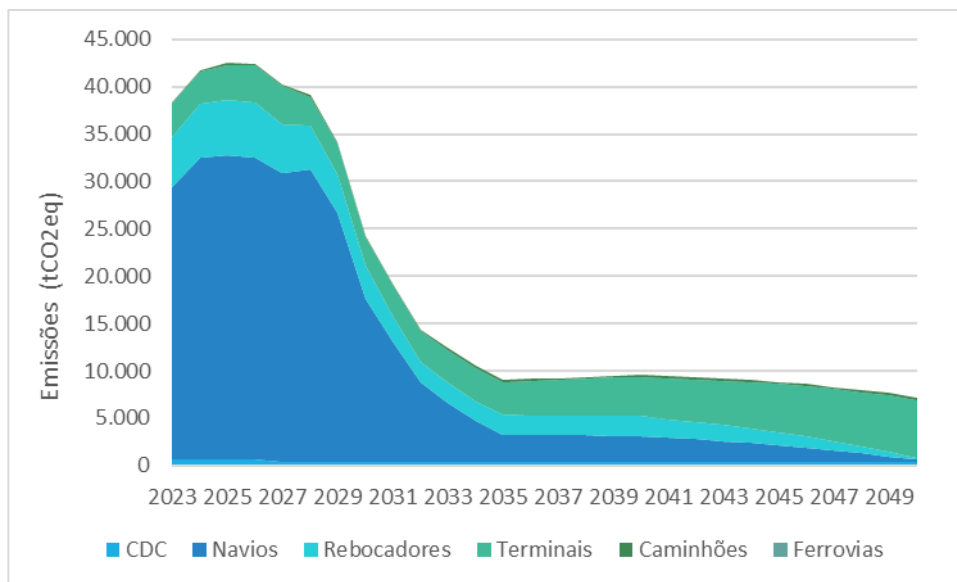
Figura 51 – Investimentos previstos por medida no cenário otimista.



Fonte: Fundación Valenciaport.

Como resultado de uma implementação mais decisiva das medidas de descarbonização propostas, as emissões do porto passam a diminuir de forma contínua a partir de 2026. Em 2050, as emissões anuais se reduzem para aproximadamente 7 kt de CO<sub>2</sub>eq, o que representa uma redução significativa em relação ao cenário tendencial (BaU) e evidencia o impacto que pode ser alcançado por meio de uma estratégia ambiciosa de descarbonização.

Figura 52 – Emissões anuais do Porto de Fortaleza no cenário otimista.



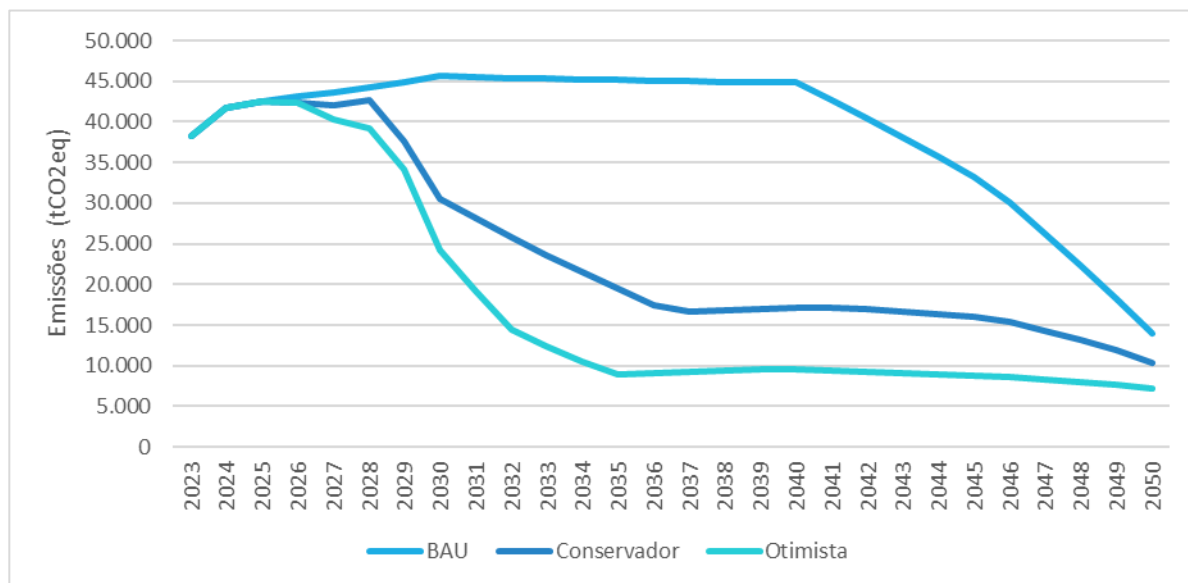
Fonte: Fundación Valenciaport

### 6.8.3. Comparação de cenários

O gráfico a seguir apresenta a evolução da pegada de carbono do Porto de Fortaleza conforme o cenário Business as Usual, bem como os cenários conservador e otimista de implementação das medidas. Observa-se que o cenário conservador consegue manter um nível de emissões constante, apesar do aumento da atividade, até 2030, ano a partir do qual ocorre uma redução significativa impulsionada pelas medidas de eletrificação de cais e secundada ela

descarbonização do setor marítimo. Por sua vez, o cenário otimista prevê reduções já a partir de 2026, que também ganham velocidade a partir de 2030.

Figura 53 – Emissões do Porto de Fortaleza até 2050 por cenário.



Fonte: Fundación Valenciaport.

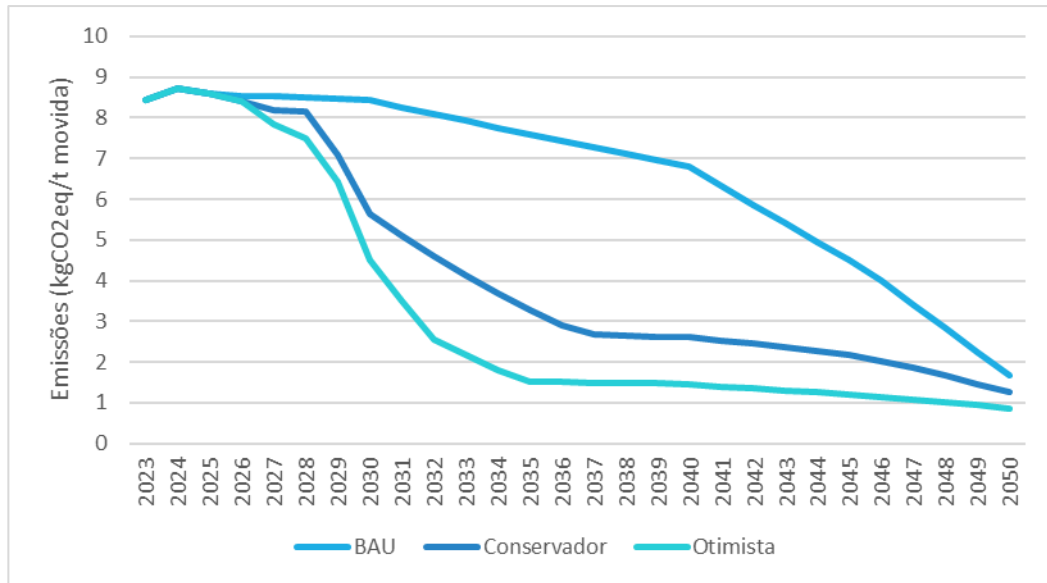
Tabela 19 – Redução de emissões do Porto de Fortaleza por cenário.

Ano	% Redução CO <sub>2</sub> (2023 referência)		
	Bau	Conservador	Otimista
2035	-17,77	49,27	76,52
2040	-17,09	55,23	75,04
2045	13,28	58,21	76,94
2050	63,57	72,85	81,33

Fonte: Fundación Valenciaport

No cenário de manutenção das práticas atuais (BaU), observa-se uma tendência de estabilidade das emissões, com início de uma redução gradual a partir de 2040. Nos cenários conservador e otimista, as reduções ocorrem de forma antecipada e com maior intensidade.

Figura 54 – Emissões específicas do Porto de Fortaleza até 2050 por cenário.



Fonte: Fundación Valenciaport

#### 6.8.4. Valor Presente Líquido (VPL)

##### 6.8.4.1. Cenário Conservador

O Valor Presente Líquido (VPL) é uma métrica financeira que compara os benefícios econômicos futuros — tais como economia de combustível, otimização operacional, redução de custos ou ganhos indiretos — com os investimentos necessários para sua implementação, trazendo todos os fluxos a valor presente por meio de uma taxa de desconto. No contexto do Plano de Descarbonização, um VPL positivo indica que a ação é financeiramente atrativa e gera retorno superior ao custo de capital.

Sete ações avaliadas no cenário conservador apresentam Valor Presente Líquido (VPL) positivo, concentradas principalmente no âmbito dos navios e dos rebocadores, que continuam sendo os segmentos com melhor desempenho econômico dentro do portfólio de mitigação do Porto de Fortaleza. As ações com maior destaque são:

- N7 – Eletrificação de cais para granéis líquidos - VPL: R\$ 21,84 milhões  
Trata-se da iniciativa financeiramente mais robusta do conjunto analisado, combinando elevado potencial de redução de emissões (mais de 257 mil tCO<sub>2</sub>) com forte retorno econômico.
- N9 – Eletrificação do cais 106 para navios portacontêineres - VPL: R\$ 3,66 milhões  
A eletrificação de berços voltada ao segmento containerizado também se mostra vantajosa, reforçando que a adoção de OPS (Onshore Power Supply) é uma das estratégias mais efetivas para descarbonização, com um impacto de 124 mil tCO<sub>2</sub> em reduções.

- R2 – Programas de monitoramento de bioincrustação - VPL: R\$ 1,72 milhão  
Apresenta retorno positivo decorrente de ganhos operacionais e redução de consumo energético em rebocadores e embarcações de apoio.
- N3 – Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono - VPL: R\$ 1,15 milhão ..  
A adoção de critérios ambientais para priorização de atracação é uma medida de baixo custo e alto impacto estratégico, incentivando a chegada de embarcações mais eficientes.

As quatro ações com VPL positivo reforçam uma tendência clara: o maior potencial financeiro da descarbonização está nos modais marítimos, principalmente: eletrificação de berços (OPS), e eficiência operacional aplicada a navios e rebocadores. As duas ações de eletrificação (N7 e N9) concentram a maior parte do retorno financeiro e do potencial de redução de emissões. Somadas, representam: mais de 381 mil tCO<sub>2</sub> evitadas, e VPL conjunto superior a R\$ 25 milhões. As ações de menor investimento (R2 e N3) também se mostram economicamente favoráveis, reforçando que medidas comportamentais, regulatórias e de monitoramento podem gerar benefícios significativos mesmo sem aportes elevados de capital.

Ao mesmo tempo, as ações com VPL negativo permanecem relevantes do ponto de vista climático e institucional. Elas contribuem para: melhorar a governança energética, reforçar a transparência e coleta de dados, preparar o porto para tecnologias futuras e integrar atores portuários em torno de uma agenda comum.

A análise reforça que **navios e rebocadores são os segmentos prioritários** tanto pela sua participação na pegada de carbono quanto pela atratividade financeira, posicionando essas ações como principais candidatas para implementação no curto prazo.

Tabela 20 – Valor Presente Líquido das Medidas – Cenário Conservador

Categoria	Código	Medida	Investimento (MR\$)	Redução de tCO2 esperada	VPL (MR\$)
Navios	N7	Eletrificação de cais para granéis líquidos	43,27	257.073,58	R\$ 21,84
Navios	N9	Eletrificação de cais 106 portacontêineres	31,06	124.337,81	R\$ 3,66
Rebocadores	R2	Programas de monitoramento de bioincrustação	0,69	8.667,59	R\$ 1,72
Navios	N3	Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono	0,25	5.738,21	R\$ 1,15
Terminais	T1	Melhoria na coleta de dados dos operadores	0,25	1.561,86	R\$ 0,20
Rebocadores	R1	Grupo de trabalho para a descarbonização de rebocadores	0,72	1.806,66	R\$ 0,11
Terminais	T2	Instalação de medidores separados para cada terminal/operador	0,10	535,43	R\$ 0,01
CDC	A2	Articulação institucional para aquisição de veículos elétricos para colaboradores da CDC	0,25	100,71	-R\$ 0,10
Caminhões	C1	Grupo de trabalho do transporte terrestre	0,72	116,92	-R\$ 0,29
Terminais	T4	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de eletricidade renovável (com certificado)	11,00	17.748,15	-R\$ 0,88
Navios	N4	Implementar projeto tarifa verde para os navios	6,00	6.360,68	-R\$ 0,89
Terminais	T5	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de combustíveis de baixas emissões	10,50	3.033,39	-R\$ 4,24
Energias Renováveis	E1	Consumo de energia procedente de fotovoltaica	35,84	3.002,36	-R\$ 15,49

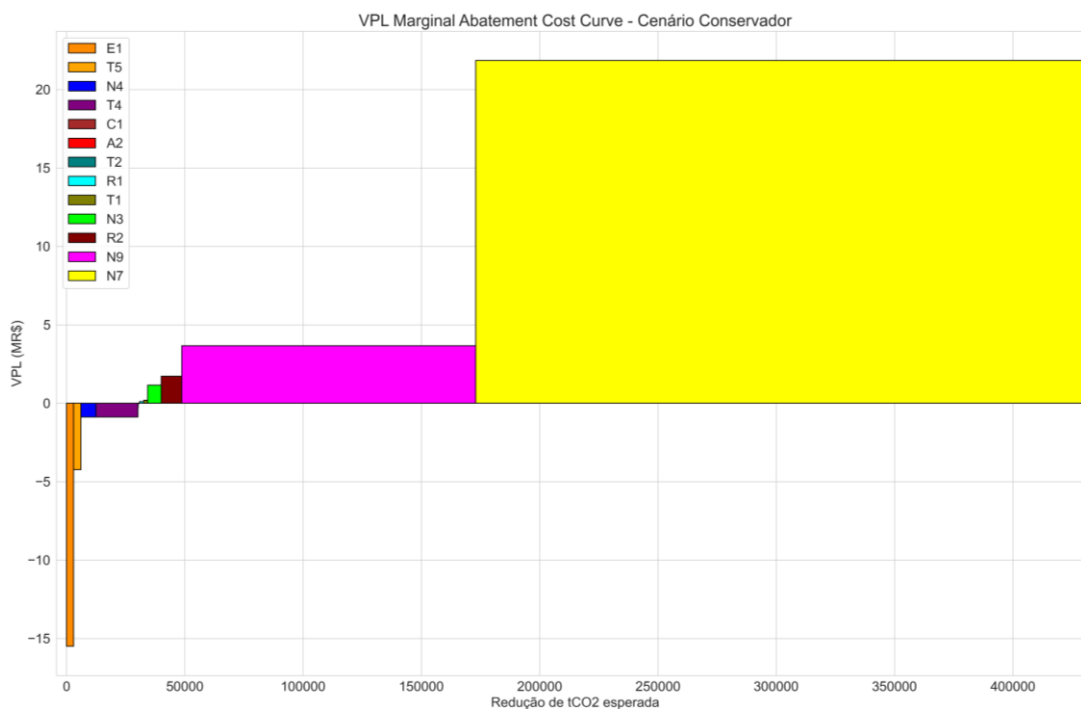
Fonte: Fundación Valenciaport

A avaliação econômica das medidas propostas no Plano de Descarbonização inclui a construção de uma Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC) baseada no Valor Presente Líquido (VPL) de cada ação. Essa abordagem permite comparar, de forma integrada, o impacto climático e a viabilidade financeira das iniciativas, identificando aquelas que oferecem o melhor equilíbrio entre redução de emissões e retorno econômico. Na figura a seguir, cada barra representa uma ação analisada no cenário conservador, posicionada conforme: (i) o volume total de emissões evitadas ao longo do horizonte de estudo, representado pela largura da barra; e (ii) o VPL associado à medida, refletido pela altura da barra.

O gráfico evidencia quais ações geram benefícios líquidos positivos — posicionando-se acima do eixo zero — e quais apresentam VPL negativo, mas ainda assim contribuem significativamente para a redução de GEE ou para o fortalecimento institucional do porto. O gráfico também facilita a visualização dos segmentos que concentram o

maior potencial de abatimento, permitindo identificar prioridades estratégicas e complementaridades entre medidas. Essa representação gráfica sintetiza, portanto, a relação custo-benefício de cada ação e apoia a tomada de decisão sobre a sequência e prioridade de implementação dentro da trajetória de descarbonização do Porto de Fortaleza.

Figura 55 – VPL Conservador



Fonte: Fundación Valenciaport.

Entre todas as ações analisadas, destacam-se N7 (Eletrificação de cais para granéis líquidos), N9 (Eletrificação do cais 106 para portacontêineres) e R2 (Programas de monitoramento de bioincrustação), que aparecem na figura com as barras mais largas e altas, evidenciando sua combinação única de elevado potencial de redução de emissões e VPL positivo. Essas três iniciativas se consolidam como as mais eficientes do ponto de vista econômico e climático, representando os maiores ganhos líquidos para o porto no cenário conservador. As demais ações, embora com menor VPL ou retorno negativo, continuam desempenhando um papel importante por criarem condições operacionais, regulatórias e institucionais que viabilizam a transição energética e sustentam a trajetória de descarbonização de longo prazo.

#### 6.8.4.2. Cenário Otimista

No cenário otimista, que considera maior eficiência na implementação das medidas e condições favoráveis de mercado e regulação, identificou-se 13 ações com VPL positivo. Observa-se nesse cenário um aumento expressivo

tanto no potencial de redução de emissões de GEE quanto nos valores de retorno econômico (VPL) das ações avaliadas. Esse cenário amplia significativamente os resultados obtidos, refletindo um ambiente em que tecnologias emergentes, políticas setoriais e instrumentos financeiros atuam de maneira sinérgica para acelerar a descarbonização portuária.

A Curva de Custo Marginal de Abatimento (MACC) apresentada na Figura 56 demonstra que, assim como no cenário conservador, as ações de maior impacto seguem fortemente concentradas nos modais marítimos. No entanto, no cenário otimista, várias iniciativas institucionais e operacionais também passam a apresentar desempenho econômico mais favorável.

Tabela 21 – Valor Presente Líquido das Medidas – Cenário Otimista

Categoria	Código	Medida	Investimento (MR\$)	Redução de tCO2 esperada	VPL (MR\$)
Navios	N7	Eletrificação de cais para granéis líquidos	43,27	298.737,37	R\$ 30,74
Terminais	T3	Fornecimento de eletricidade renovável aos operadores	0,00	36.518,44	R\$ 8,12
Rebocadores	R4	Fornecimento de eletricidade durante a espera	6,75	38.315,78	R\$ 6,33
Navios	N9	Eletrificação de cais 106 portacontêineres	31,06	124.337,81	3,66
Rebocadores	R2	Programas de monitoramento de bioincrustação	0,69	8.667,59	R\$ 3,41
CDC	A1	Aquisição de eletricidade de origem 100% renovável com certificado de Garantia de Origem	1,06	8.152,21	R\$ 1,24
Rebocadores	R5	Programa de certificação ambiental para rebocadores	3,60	12.044,37	R\$ 1,23
Navios	N3	Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono	0,25	5.738,21	R\$ 0,87
Terminais	T7	Incluir critérios de sustentabilidade nos novos contratos de concessão	0,00	2.953,43	R\$ 0,70
Rebocadores	R1	Grupo de trabalho para a descarbonização de rebocadores	1,20	3.613,31	R\$ 0,32
Terminais	T6	Simplificação do processo de instalação de energia renovável para operadores portuários	0,24	1.875,23	R\$ 0,28
Terminais	T1	Melhoria na coleta de dados dos operadores	0,25	1.561,86	R\$ 0,20
Terminais	T2	Instalação de medidores separados para cada terminal/operador	0,10	535,43	R\$ 0,01
CDC	A2	Articulação institucional para aquisição de veículos elétricos para colaboradores da CDC	0,50	141,16	-R\$ 0,21

<b>Categoria</b>	<b>Código</b>	<b>Medida</b>	<b>Investimento (MR\$)</b>	<b>Redução de tCO2 esperada</b>	<b>VPL (MR\$)</b>
<b>Navios</b>	N4	Implementar projeto tarifa verde para os navios	6,00	9.098,26	-R\$ 0,22
<b>Caminhões</b>	C1	Grupo de trabalho do transporte terrestre	0,72	116,92	-R\$ 0,29
<b>Caminhões</b>	C3	Esquema de categorização e etiquetas verdes para caminhões	1,30	282,71	-R\$ 0,59
<b>Caminhões</b>	C4	Implementar sistema inteligente de gestão dos acessos ao porto (Pré Gate)	2,85	545,89	-R\$ 1,39
<b>Terminais</b>	C4	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de eletricidade renovável (com certificado)	22,00	35.496,30	-R\$ 1,76
<b>Navios</b>	N8	Eletrificação de cais 105 portacontêineres	30,88	30.798,26	-R\$ 7,74
<b>Energias renováveis</b>	E2	Fomento aos terminais para que utilizem maquinário movido a hidrogênio verde produzido no porto.	12,60	3.365,61	-R\$ 8,27
<b>Terminais</b>	E2	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de combustíveis de baixas emissões	21,00	6.066,79	-R\$ 8,48
<b>Energias renováveis</b>	E1	Consumo de energia procedente de fotovoltaica	42,99	3.642,20	-R\$ 18,44

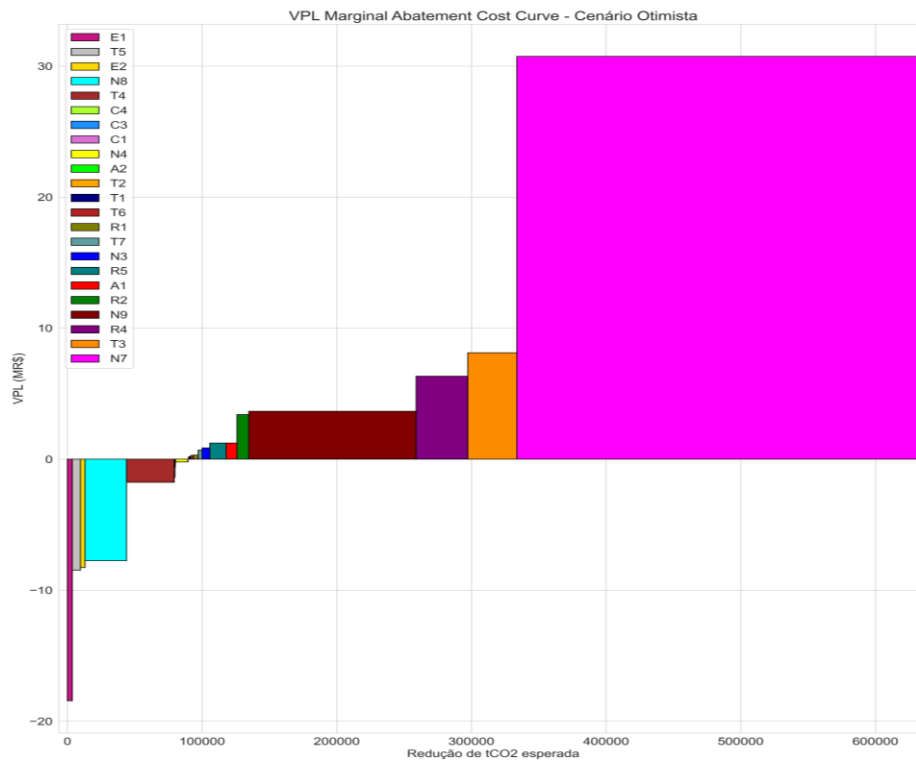
Fonte: Fundación Valenciaport.

As cinco ações com VPL positivo mais elevado neste cenário são:

- N7 – Eletrificação de cais para granéis líquidos, que apresenta o maior VPL de todas as medidas (R\$ 30,74 milhões) e também o maior potencial de redução de emissões, ultrapassando 298 mil tCO<sub>2</sub>eq;
- T3 – Fornecimento de eletricidade renovável aos operadores, com VPL de R\$ 8,12 milhões e impactos relevantes sobre o consumo energético das operações internas;
- R4 – Fornecimento de eletricidade durante a espera dos rebocadores, que apresenta VPL de R\$ 6,33 milhões, reduzindo emissões associadas ao uso de motores auxiliares;
- N9 – Eletrificação do cais 106 para navios portacontêineres, com VPL de R\$ 3,66 milhões e forte contribuição para a redução de emissões do segmento containerizado;
- R2 – Programas de monitoramento de bioincrustação, com VPL de R\$ 3,41 milhões, apresentando um dos melhores desempenhos entre as ações de baixo investimento.

Diferentemente do cenário conservador, o cenário otimista amplia significativamente o volume total de redução esperado — alcançando mais de 400 mil tCO<sub>2</sub>eq — e melhora o desempenho econômico de diversas ações. Medidas como certificação ambiental para rebocadores (R5), aquisição de energia renovável pela CDC (A1) e inclusão de critérios ambientais em contratos de concessão (T7) passam a mostrar resultados financeiros positivos, reforçando o papel de mecanismos regulatórios e operacionais de apoio.

Figura 56 – VPL Otimista.



Fonte: Fundación Valenciaport.

## 6.9. Compensação

Embora os esforços de descarbonização permitam reduzir de forma significativa as emissões do Porto de Fortaleza, sempre haverá um volume residual de emissões de difícil eliminação, em função da natureza operacional de determinadas atividades portuárias. Para que o porto alcance a neutralidade climática e se torne uma infraestrutura de emissões líquidas zero em 2050, será necessário complementar as medidas de mitigação com ações de compensação. Isso implica investimentos em projetos capazes de evitar ou remover da atmosfera uma quantidade equivalente de GEE às emissões residuais.

De acordo com os cenários analisados, o custo anual estimado para a compensação das emissões residuais em 2050 seria de aproximadamente R\$ 9,2 milhões no cenário conservador e R\$ 6,3 milhões no cenário otimista, considerando os resultados projetados de emissões residuais para cada cenário, conforme descrito nas seções anteriores e um preço médio de R\$ 880 por crédito de carbono.

Recomenda-se iniciar a estratégia de compensação do Porto de Fortaleza a partir de 2050 de forma gradual, evoluindo pelas seguintes fases: facilitador, aglutinador e, posteriormente, estabelecimento de requisitos obrigatórios para atingir emissões líquidas zero. A seguir, apresentam-se as responsabilidades da CDC em cada etapa:

### **Facilitador**

- Criar e manter uma plataforma digital de acesso a créditos confiáveis.
- Selecionar e validar fornecedores e corretores de créditos certificados.
- Divulgar informações e sensibilizar a comunidade portuária sobre a importância da compensação.

### **Aglutinador**

- Criar e manter uma plataforma para compra e venda de créditos.
- Conectar usuários portuários a fornecedores/corretores confiáveis.
- Identificar necessidades de compensação e projetos disponíveis.
- Promover compras coletivas com condições mais vantajosas.
- Garantir a rastreabilidade e a verificação das transações.

### **Requisito de Emissões Netas Cero**

- Estabelecer normas para a neutralidade de emissões no ecossistema portuário.
- Incluir requisitos de compensação em contratos, licenças e concessões.
- Implementar sistemas obrigatórios de monitoramento e verificação.
- Aplicar incentivos e sanções de acordo com o nível de conformidade.
- Oferecer capacitação e apoio para medidas de redução e compensação.

## **6.10. Outras ações complementares**

---

As medidas incluídas no plano de ação foram elaboradas considerando as categorias definidas no Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza e com base nas principais fontes de emissão identificadas no cálculo de sua pegada de carbono. Outras ações complementares recomendadas são:

- Colaborar com universidades e centros de pesquisa em projetos relacionados à inovação, eficiência energética e descarbonização do setor portuário.
- Participar e desenvolver programas de capacitação e sensibilização interna sobre eficiência energética e sustentabilidade, direcionados ao corpo técnico da CDC e às empresas concessionárias.
- Integrar o acesso ao porto à mobilidade urbana de Fortaleza, promovendo alternativas de transporte de zero emissões, como patinetes elétricos e bicicletas.
- Otimizar a logística interna do porto, reduzindo deslocamentos desnecessários de veículos e equipamentos.
- Incentivar a medição, reporte e verificação de emissões (MRV) entre os diferentes atores portuários, fortalecendo a transparência e a disponibilidade de dados.

- Participar ativamente dos grupos de trabalho e encontros da Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos, buscando compartilhar e obter informação sobre projetos e ações em curso no país. Esta é uma forma muito interessante para que os técnicos estejam alinhados a cases nacionais e internacionais, além de servir como ponto de identificação de oportunidades de novos projetos e negócios para a CDC.
- Participar de redes e fóruns internacionais, alinhando o porto às melhores práticas e tendências globais em descarbonização.

## 7. Considerações finais

O Plano de Descarbonização do Porto de Fortaleza representa um marco inédito no cenário portuário brasileiro, posicionando o complexo logístico como um dos primeiros portos públicos do país a dispor de uma ferramenta de planejamento climático alinhada às exigências do século XXI.

Mais do que uma resposta às metas da OMI e aos compromissos assumidos pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, o plano estabelece as bases técnicas, operacionais e estratégicas para a redução progressiva das emissões de gases de efeito estufa em todos os modais e cadeias logísticas do porto. O documento apresenta soluções tecnológicas viáveis e inovadoras, como a eletrificação de berços, o aproveitamento do potencial de energia solar, o uso de biocombustíveis, hidrogênio verde e outras fontes renováveis com capacidade de reduzir emissões de forma significativa.

A estratégia combina ações realistas de curto prazo com iniciativas estruturantes de longo prazo, promovendo uma transição energética gradual e segura em todos os modais e equipamentos portuários. A criação de uma comunidade colaborativa entre a CDC, operadores e transportadores fortalece a adesão às metas e impulsiona uma governança integrada para a sustentabilidade. Com base em análises econômicas consistentes, observa-se que 7 ações apresentam VPL positivo no cenário conservador, enquanto 13 ações tornam-se financeiramente viáveis no cenário otimista, demonstrando que a descarbonização não apenas reduz emissões, mas também representa uma oportunidade concreta de geração de valor e aumento de competitividade para o porto.

Como consequência do processo de descarbonização do setor marítimo, a relevância de outras aplicações energéticas crescerá significativamente no Porto de Fortaleza, tornando essencial a criação de espaços de colaboração com toda a comunidade portuária. A descarbonização será impulsionada, sobretudo, pela transição energética no setor marítimo; portanto, é fundamental que o Porto de Fortaleza se prepare para o fornecimento de combustíveis renováveis, ampliando sua atratividade comercial. Para a descarbonização completa, será necessário considerar as ações de compensação, nas quais a CDC deverá, inicialmente, atuar como agente facilitador.

Este plano reforça o compromisso do Porto de Fortaleza com um ecossistema logístico de baixo carbono, atraindo investimentos sustentáveis e consolidando seu protagonismo nacional em sustentabilidade portuária.

## Referências

- BlueBARGE** – Plataforma de fornecimento de energia limpa para navios. <https://bluebarga.eu/>
- Brasil: Proyecto Pecém** – <https://latinoamerica.fortescue.com/es/our-projects/brazil-project-pecem>
- EMEP/EEA** – EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook.  
<https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-d-navigation/view>
- Estatístico Aquaviário**- <https://web3.antaq.gov.br/ea/sense/index.html>
- Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental de Licitação do Terminal de Contêineres de Fortaleza**
- Fourth OMI Greenhouse Gas Study (2020)** – Estudo de emissões de gases de efeito estufa no setor marítimo.  
<https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
- IEC/IEEE 80005-1 (2019) – Utility connections in port: Part 1: High Voltage Shore Connection (HVSC) systems** – General requirements. International Electrotechnical Commission / Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://webstore.iec.ch/en/publication/29485>
- Methanol in Ceará (2023)** – <https://en.clickpetroleoegas.com.br/metanol-no-ceara-projeto-refinaria-de-petroleo-do-pecem-tem-novo-acordo-inedito-milionario-e-iniciara-construcao-de-planta-industrial-em-breve>
- NASA** <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NRL** - [https://atb.nrel.gov/electricity/2021/utility-scale\\_battery\\_storage](https://atb.nrel.gov/electricity/2021/utility-scale_battery_storage)
- Planejamento Estratégico 2025-2029**
- Plano Mestre do Complexo Portuário**- <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/centrais-de-conteudo/for-pec-rel-vf-pdf>
- Raízen and Wartsila on Ethanol solutions (2023)** – <https://www.wartsila.com/media/news/23-10-2023-wartsila-decarbonisation-modelling-agreement-supports-ra%C3%ADzen-s-commitment-to-reducing-marine-sector-s-ghg-emissions-3342427>
- Science Based Targets initiative (2023)** – Science Based Target Setting for the Maritime Transport Sector.  
<https://sciencebasedtargets.org/resources/files/SBTi-Maritime-Guidance.pdf>
- Wallenius Wilhelmsen (2019) - Fuel-efficient and eco-friendly vessel technologies**  
<https://www.walleniuswilhelmsen.com/insights/making-an-impact-3-orcelle-award-winners-developing-eco-friendly-tech>

## Anexo I – Detalhe das medidas propostas

<b>Código da ação</b>	<b>A1</b>
<b>Medida</b>	Aquisição de eletricidade de origem 100% renovável com certificado de Garantia de Origem
<b>Descrição</b>	Contratação do fornecimento de energia elétrica exclusivamente com comercializadoras que ofereçam energia certificada por meio de Garantias de Origem renovável (GdO). Para isso, será necessário revisar os contratos vigentes de eletricidade, incorporar esse requisito em futuras licitações e realizar um acompanhamento periódico dos certificados emitidos pelo fornecedor para assegurar o cumprimento do compromisso de consumo de energia renovável.
<b>Tipo de medida</b>	Regulação, Incentivos & Contratos
<b>Âmbito de aplicação</b>	Autoridade Portuária
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,34
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estímulo ao mercado de energia limpa e ao cumprimento das metas climáticas estaduais e nacionais.</li> <li>○ Redução da pegada de carbono institucional por substituição de energia de origem fóssil por energia certificada renovável.</li> <li>○ Fortalecimento da imagem institucional do porto como liderança climática e aderente às melhores práticas ESG.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	1,06
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2028
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODCOL
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Eletricidade consumida proveniente de fontes renováveis (kWh)</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Portonave (SC) – Migrou 100% do consumo para energia de fonte incentivada e renovável, com comprovação por certificação (I-REC), fortalecendo a redução das emissões indiretas.</li> <li>○ Porto do Açu (RJ) – Ampliação progressiva do uso de energia de fontes renováveis e integração com estratégias de descarbonização do distrito portuário-industrial.</li> <li>○ Porto de Santos (SP) – Iniciativas de contratação de energia proveniente de fontes renováveis integradas ao programa de eficiência energética da autoridade portuária.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha) – Adoção de um portfólio de energia 100% renovável com certificação de Garantias de Origen (GdOs), alinhado ao plano de neutralidade climática até 2030.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda) – Utilização de eletricidade verde certificada em operações administrativas e infraestrutura portuária, integrada ao roadmap Net Zero 2050.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA) – Contratação de energia limpa via Renewable Energy Certificates (RECs) para reduzir emissões indiretas das instalações portuárias.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>A2</b>
<b>Medida</b>	Articulação institucional para aquisição de veículos elétricos para colaboradores da CDC
<b>Descrição</b>	Fomentar a substituição da frota de veículos utilizados pela CDC e por colaboradores por modelos elétricos, por meio de ações de incentivo institucional.
<b>Tipo de medida</b>	Governança & Planejamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Autoridade Portuária
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,01
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Melhoria da qualidade do ar no entorno portuário, reduzindo poluentes locais (NOx, MP).</li> <li>○ Fortalecimento da cultura institucional de sustentabilidade e inovação.</li> <li>○ Incentivo à modernização da frota e estímulo à adoção de tecnologias limpas na região.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,5
<b>Horizonte temporal</b>	2030-2031
<b>Departamento responsável</b>	GABPRE
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual da frota institucional substituída por veículos elétricos.</li> <li>○ Estimativa anual de km rodados com veículos elétricos vs. combustão.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP) – Programa de incentivo à mobilidade sustentável para colaboradores, com ações de substituição progressiva de veículos por modelos elétricos.</li> <li>○ Porto de Itajaí (SC) – Iniciativas de mobilidade de baixa emissão integradas a ações internas de ESG.</li> </ul> <p><b>Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Barcelona (Espanha) – Incentivos para substituição da frota interna e estímulo ao uso de veículos elétricos por colaboradores e prestadores.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA) – Programas de mobilidade limpa com foco na adoção progressiva de EVs e redução de emissões associadas a deslocamentos.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	N1
<b>Medida</b>	Melhoria na coleta de dados das escalas
<b>Descrição</b>	Implementação de mecanismos padronizados e automáticos para a coleta, consolidação e análise dos dados em escala das embarcações que operam no Porto de Fortaleza, incluindo horários de chegada e saída, tempos de espera, consumo de energia, uso de combustível, tipo de carga e características da embarcação.
<b>Tipo de medida</b>	Operações & Eficiência Logística
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento da precisão dos inventários de emissões dos navios.</li> <li>○ Redução de tempos de espera e otimização da programação de atracação.</li> <li>○ Melhoria da eficiência operacional e redução de custos associados a atrasos.</li> <li>○ Base sólida de dados para implantação futura de OPS, combustíveis alternativos e medidas estruturais.</li> <li>○ Maior transparência e rastreabilidade das operações marítimas.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,6
<b>Horizonte temporal</b>	2026
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODCOL
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de escalas com dados completos e padronizados.</li> <li>○ Número de variáveis monitoradas por embarcação (combustível, energia, tempos etc.).</li> <li>○ Redução média dos tempos de espera das embarcações (h/escala).</li> <li>○ Disponibilidade do sistema de coleta automática (%).</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP) – Sistema de Janela Única Portuária com coleta digital integrada de dados de escalas e tempos operacionais.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda) – Plataforma PortXchange com dados em tempo real de escalas, consumo e otimização de chegada.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha) – Sistema integrado de monitoramento de tráfego marítimo, redução de tempos de espera e planejamento inteligente de atracação.</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha) – Digitalização completa dos dados de escala como base para o plano de descarbonização e implantação de OPS.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N2</b>
<b>Medida</b>	Implementação de um sistema de gestão de escalas
<b>Descrição</b>	Desenvolvimento e implementação de um sistema digital integrado que permita planejar, coordenar e otimizar as escalas dos navios no Porto de Fortaleza. A ferramenta pode incluir funcionalidades como programação Just-in-Time, notificações aos atores-chave e conexão com os sistemas do porto.
<b>Tipo de medida</b>	Operações & Eficiência Logística
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução de tempos de espera e aumento da eficiência na utilização do cais.</li> <li>○ Melhoria da previsibilidade operacional e comunicação entre armadores, agentes e autoridade portuária.</li> <li>○ Base para programas Just-in-Time Arrivals, diminuindo emissões associadas à velocidade excessiva dos navios (speeding) e ao tempo parado.</li> <li>○ Redução de custos operacionais para armadores e operadores.</li> <li>○ Apoio estratégico para posterior implementação de OPS, rebocadores elétricos e outras medidas estruturais.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,3
<b>Horizonte temporal</b>	2026
<b>Departamento responsável</b>	CODTEI / CODGEP
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução percentual do tempo médio de espera no fundeio (h/navio).</li> <li>○ Percentual de escalas programadas via sistema digital.</li> <li>○ Número de usuários/atores-chave integrados ao sistema.</li> <li>○ Tempo de resposta e disponibilidade da plataforma (% uptime).</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP) – Sistema digital de agendamento e janela única portuária para otimização das escalas e redução de esperas.</li> <li>○ Porto de Itapoá (SC) – Planejamento digital de atracação integrado a operações terrestres.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda) – Plataforma PortXchange, referência global em Just-in-Time Arrivals.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha) – Sistema inteligente de gestão de escalas integrado ao Vessel Traffic Service (VTS).</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha) – Programação digital integrada como parte da estratégia Smart Port.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N3</b>
<b>Medida</b>	Sistema de prioridade de escala para navios de baixo carbono
<b>Descrição</b>	Desenvolvimento e implementação de um sistema que concede prioridade de atracação aos navios que utilizam combustíveis de baixas emissões ou tecnologias limpas.
<b>Tipo de medida</b>	Operações & Eficiência Logística
<b>Âmbito de aplicação</b>	Autoridade Portuária
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	664,06
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Atracção de navios com menor pegada de carbono, impulsionando a transição energética no setor marítimo.</li> <li>○ Redução da intensidade de emissões no entorno portuário devido à preferência operacional dada a embarcações mais limpas.</li> <li>○ Fortalecimento da imagem do porto como hub de inovação e sustentabilidade.</li> <li>○ Estímulo ao mercado para adoção de novas tecnologias (OPS, motores dual-fuel, zero-emission).</li> <li>○ Possível redução de custos operacionais para armadores que evitam longos tempos de espera.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,25
<b>Horizonte temporal</b>	2026
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de navios de baixo carbono atendidos com prioridade por ano/tarifa verde.</li> <li>○ Percentual das escalas que utilizam combustíveis alternativos vs. combustíveis tradicionais.</li> <li>○ Redução média dos tempos de espera para navios elegíveis (h/navio).</li> <li>○ Adesão dos armadores às regras e critérios do sistema.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Adoção de critérios ambientais em processos de agendamento e atracação, priorizando embarcações com melhor desempenho ambiental (ESI/CSI).</li> <li>○ Porto do Açu: Uso de métricas ambientais para organizar a atracação, integrando performance ESG ao planejamento operacional.</li> <li>○ Porto de Suape: Avanços em governança e digitalização que permitem priorizar navios de melhor performance ambiental em cenários operacionais específicos.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Utiliza indicadores ambientais (ESI + dados de emissões) para priorizar navios mais limpos em processos de Just-In-Time Arrivals e planejamento de atracação.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): Sistema integrado de gestão de tráfego marítimo (VTS) que permite priorizar embarcações com tecnologias de menor emissão.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Coordenação operacional para priorizar navios Tier III e de combustíveis alternativos em situações de congestionamento.</li> <li>○ Porto de Singapura: Adoção de protocolos de JIT que permitem priorizar navios de menor intensidade de carbono, reduzindo tempo de espera e velocidade excessiva (“slow steaming”).</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Prioridade operacional para embarcações com combustíveis alternativos e navios de zero emissão.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N4</b>
<b>Medida</b>	Implementar projeto tarifa verde para os navios
<b>Descrição</b>	Implementação de um esquema de incentivos econômicos que concede descontos nas tarifas portuárias para navios que operam com combustíveis renováveis ou de baixas emissões, como metanol verde, biocombustíveis avançados, hidrogênio, entre outros.
<b>Tipo de medida</b>	Regulação, Incentivos & Contratos
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	1.641,73
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Atração de embarcações que operam com combustíveis renováveis ou tecnologias limpas.</li> <li>○ Fortalecimento da imagem do Porto de Fortaleza como porto inovador e comprometido com a transição energética.</li> <li>○ Estímulo à adoção e aceleração do mercado de combustíveis sustentáveis (SAF marítimo, metanol verde, H<sub>2</sub>).</li> <li>○ Alinhamento com tendências globais de tarifas ambientais (ESI, Green Award, EcoAction etc.).</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	6,0
<b>Horizonte temporal</b>	2027
<b>Departamento responsável</b>	CODGEN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número anual de navios elegíveis que receberam o desconto verde.</li> <li>○ Percentual de escalas utilizando combustíveis alternativos vs. combustíveis fósseis.</li> <li>○ Valor total de descontos concedidos vs. impacto ambiental gerado.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Suape: Descontos progressivos de 10% a 60% conforme score ESI.</li> <li>○ Porto do Açu: Descontos entre 5% e 10%, com limite financeiro por navio.</li> <li>○ Porto de Pecém: Descontos de 5% e 10% conforme faixas ESI.</li> <li>○ Porto de Santos: Incentivos tarifários de 5% a 15% de acordo com o desempenho ambiental.</li> <li>○ Porto de Fortaleza (proposta): Desconto proporcional ao score do navio.</li> </ul> <p><b>Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Incentivos a navios de baixo carbono via ESI e combustíveis alternativos.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Programa “Green Ship” com benefícios financeiros por tecnologia limpa.</li> <li>○ Porto de Vancouver (Canadá): Programa EcoAction com descontos de 23% a 47% conforme combustível alternativo.</li> <li>○ Porto de Singapura: Reduções tarifárias para navios que utilizam GNL, metanol, biocombustíveis ou zero-emissão.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Descontos para navios com combustíveis alternativos ou zero-emissão.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N5</b>
<b>Medida</b>	Estudo técnico da atualização da rede elétrica de Fortaleza
<b>Descrição</b>	Realização de um estudo técnico para avaliar a capacidade atual da rede elétrica do porto e seu potencial de expansão para atender às futuras demandas energéticas, especialmente no contexto da eletrificação das operações portuárias, fornecimento de OPS (Onshore Power Supply), recarga de veículos elétricos e uso de energias renováveis.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura Energética
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificação precisa das necessidades de reforço e ampliação da rede elétrica para suportar o plano de descarbonização.</li> <li>○ Redução de riscos técnicos e operacionais associados a subdimensionamento da infraestrutura.</li> <li>○ Suporte técnico para implantação de OPS, carregamento de veículos elétricos e energias renováveis.</li> <li>○ Fortalecimento da segurança energética do porto.</li> <li>○ Base para captação de recursos junto a financiadores e programas de transição energética.</li> <li>○ Maior previsibilidade na expansão da demanda elétrica e no planejamento de investimentos.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,93
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Conclusão do estudo técnico dentro do prazo estabelecido.</li> <li>○ Identificação da capacidade elétrica disponível x necessária (MVA).</li> <li>○ Mapeamento de pontos de conexão prioritários para OPS e infraestrutura elétrica.</li> <li>○ Número de cenários de expansão considerados no estudo (mínimo x médio x máximo).</li> <li>○ Elaboração de estimativas de investimento para cada alternativa de reforço de rede.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Estudos de reforço da rede interna e integração com a subestação externa para implantação de OPS.</li> <li>○ Porto do Açu: Planejamento elétrico integrado para expansão industrial e operações de baixo carbono.</li> <li>○ Porto de Itajaí: Avaliação da infraestrutura elétrica para suportar eletrificação de equipamentos e sistemas.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha): Estudos detalhados para ampliação da capacidade elétrica visando o OPS e a eletrificação das operações.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Planos de reforço da rede para suportar hidrogênio, baterias e sistemas de zero emissão.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Estudos de engenharia elétrica para atender múltiplos berços com sistemas OPS simultâneos.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N6</b>
<b>Medida</b>	Ampliar a rede de média tensão
<b>Descrição</b>	Ampliar a rede de média tensão dentro da área portuária para garantir o fornecimento elétrico necessário às futuras demandas associadas à eletrificação de cais, OPS (Onshore Power Supply) e outras operações.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura energética e eletrificação portuária
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento da capacidade elétrica instalada para suportar projetos de eletrificação do porto.</li> <li>○ Redução da dependência de soluções emergenciais (geradores a diesel).</li> <li>○ Viabilização técnica da eletrificação de cais (OPS), frota terrestre e equipamentos portuários.</li> <li>○ Melhoria da qualidade e estabilidade do fornecimento elétrico.</li> <li>○ Preparação da infraestrutura interna para atender futuras demandas de combustíveis alternativos e sistemas de zero emissão.</li> <li>○ Maior segurança energética e resiliência da operação portuária.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	88,35
<b>Horizonte temporal</b>	2027
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Quilometragem de rede de média tensão instalada ou modernizada (km).</li> <li>○ Capacidade adicional disponibilizada para o porto (MVA).</li> <li>○ Número de novos pontos de conexão para OPS e eletropostos.</li> <li>○ Percentual de conclusão das obras de expansão elétrica (%).</li> <li>○ Redução de interrupções e falhas energéticas nas áreas operacionais.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Expansão da rede interna para atendimento simultâneo de berços com OPS.</li> <li>○ Porto do Açu: Reforço de média tensão para suportar eletrificação de equipamentos e crescimento industrial.</li> <li>○ Porto de Itajaí: Modernização da rede para integrar carregamento de veículos elétricos e redução de custos energéticos.</li> </ul> <p><b>Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha): Ampliação de rede interna para suportar múltiplas instalações OPS e integração com renováveis.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Reforço contínuo da infraestrutura elétrica para atender navios elétricos/híbridos e hidrogênio.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Expansão da rede de média tensão para alimentar berços com Shore Power e equipamentos elétricos.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N7</b>
<b>Medida</b>	Eletrificação de cais para granéis líquidos
<b>Descrição</b>	Instalação de sistemas de fornecimento elétrico nos cais destinados à operação de granéis líquidos (201 e 202), permitindo que os navios desse tipo se conectem à rede elétrica terrestre durante a estadia no porto, evitando o uso de geradores auxiliares a bordo.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura energética e eletrificação portuária
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	21.476,78
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Eliminação do uso de geradores auxiliares dos navios durante a estadia no porto, reduzindo emissões de NOx, SOx e material particulado.</li> <li>○ Melhoria significativa da qualidade do ar no entorno portuário, beneficiando trabalhadores, comunidades e áreas sensíveis próximas.</li> <li>○ Redução de ruído gerado pelos motores auxiliares, contribuindo para uma operação mais silenciosa.</li> <li>○ Fortalecimento da segurança operacional ao reduzir riscos associados a manuseio de combustíveis a bordo durante a estadia.</li> <li>○ Contribuição direta para o cumprimento de metas climáticas estaduais, nacionais e internacionais.</li> <li>○ Alinhamento com tendências globais de portos carbono neutro e exigências futuras de mercado (IMO, UE, armadores globais).</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	43,27
<b>Horizonte temporal</b>	2029-2030
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de navios de granéis líquidos conectados ao OPS por ano.</li> <li>○ Percentual de escalas elegíveis que utilizaram o sistema OPS.</li> <li>○ Consumo total de energia fornecida via OPS (MWh/ano).</li> <li>○ Tempo médio de conexão por escala e taxa de disponibilidade do sistema.</li> <li>○ Redução do número de horas de operação de motores auxiliares dos navios.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Açu: Estudos e pilotos de OPS para diferentes tipos de embarcações, incluindo operações de granéis líquidos.</li> <li>○ Porto de Santos: Projeto de eletrificação para berços selecionados com perfil de longo tempo de atracação.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Operação de OPS consolidada, incluindo terminais de granéis líquidos e químicos.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Eletrificação de berços dedicados a navios-tanque menores e operações de curta distância.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): OPS em terminais de granéis líquidos visando redução de emissões locais.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): Projetos-piloto de uso de eletricidade em berços dedicados a navios-tanque.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N8</b>
<b>Medida</b>	Eletrificação de cais 105 portacontêineres
<b>Descrição</b>	Instalação de sistemas de fornecimento elétrico nos cais destinados à operação de portacontêineres e granéis sólidos (106 e 104), permitindo que os navios desse tipo se conectem à rede elétrica terrestre durante a estadia no porto, evitando o uso de geradores auxiliares a bordo.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura energética e eletrificação portuária
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	2.657,44
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução imediata de emissões de SOx, NOx e material particulado provenientes dos motores auxiliares dos navios.</li> <li>○ Melhoria da qualidade do ar em áreas sensíveis dentro e no entorno do porto.</li> <li>○ Operação mais silenciosa devido ao desligamento dos motores auxiliares.</li> <li>○ Melhoria das condições de trabalho nas operações portuárias (menor exposição a ruído e poluentes).</li> <li>○ Alinhamento com normas e tendências internacionais que exigem OPS para navios portacontêineres (ex.: normas da União Europeia a partir de 2030).</li> <li>○ Elevação da atratividade do Porto de Fortaleza para linhas de navegação que já possuem navios preparados para conectividade elétrica em cais.</li> <li>○ Contribuição direta para metas de descarbonização nacional e compromissos internacionais de redução de emissões marítimas.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	30,88
<b>Horizonte temporal</b>	2034-2035
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de navios portacontêineres e de granéis sólidos conectados ao OPS por ano.</li> <li>○ Percentual de escalas desses segmentos que utilizam o OPS.</li> <li>○ Energia total fornecida via OPS (MWh/ano).</li> <li>○ Disponibilidade do sistema OPS por cais (%).</li> <li>○ Tempo médio de conexão e operação com sucesso.</li> <li>○ Redução do tempo de operação dos motores auxiliares dos navios.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Projetos em andamento para OPS em berços de portacontêineres, com estudos avançados de engenharia.</li> <li>○ Porto do Açu: Avaliação de soluções OPS para navios de apoio logístico e operações de contêineres.</li> <li>○ Porto de Itajaí: Planejamento para atender equipamentos e navios de forma integrada à modernização do terminal.</li> </ul> <p><b>Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Long Beach e Los Angeles (EUA): Pioneiros em eletrificação de cais para navios portacontêineres, com operação consolidada desde 2014.</li> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): Sistemas OPS para granéis sólidos e contêineres, integrados a soluções de energia renovável.</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha): Projetos OPS em berços de portacontêineres como parte do plano de neutralidade climática 2030.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): Infraestrutura OPS para diversos tipos de embarcações, com expansão para navios de maior porte.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Conectividade OPS disponível para navios Ro-Ro, contêineres e granéis.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>N9</b>
<b>Medida</b>	Eletrificação de cais 106 portacontêineres
<b>Descrição</b>	Instalação de sistemas de fornecimento elétrico nos cais destinados à operação de portacontêineres (105 e 106), permitindo que as embarcações desse tipo se conectem à rede elétrica terrestre durante a estadia no porto, evitando o uso de geradores auxiliares a bordo.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura energética e eletrificação portuária
<b>Âmbito de aplicação</b>	Navios
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	7.979,28
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução imediata das emissões atmosféricas de NOx, SOx e material particulado no entorno do terminal.</li> <li>○ Melhoria da qualidade ambiental e das condições de trabalho durante as operações portuárias.</li> <li>○ Redução significativa do ruído operacional, especialmente em operações noturnas.</li> <li>○ Conformidade com requisitos internacionais crescentes (como a obrigatoriedade de OPS para portacontêineres na UE a partir de 2030).</li> <li>○ Elevação da competitividade do porto para atrair armadores com frota preparada para conexão elétrica.</li> <li>○ Contribuição direta para metas de descarbonização do Estado do Ceará e compromissos climáticos nacionais.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	31,06
<b>Horizonte temporal</b>	2028-2029
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de navios portacontêineres conectados ao OPS no cais 106 por ano.</li> <li>○ Percentual de escalas elegíveis que utilizam o sistema de eletrificação.</li> <li>○ Energia total fornecida via OPS (MWh/ano).</li> <li>○ Taxa de disponibilidade do sistema e tempo médio de conexão por operação.</li> <li>○ Redução do tempo de operação dos motores auxiliares dos navios durante a atracação.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Projetos avançados de OPS para berços de portacontêineres como parte do seu plano de neutralidade.</li> <li>○ Porto do Açu: Estudos para implantação de OPS em berços com operações de contêineres e apoio offshore.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Long Beach (EUA): OPS totalmente operacional em berços de portacontêineres, com alta taxa de adesão.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Projetos OPS integrados a energias renováveis para atender contêineres e Ro-Ro.</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha): Eletrificação progressiva dos berços de contêineres como parte da meta de neutralidade 2030.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): Ampliação de OPS em diversos terminais de contêineres, reduzindo emissões locais.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Conexões OPS estáveis para contêineres e Ro-Ro desde 2015.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>R1</b>
<b>Medida</b>	Grupo de trabalho para a descarbonização de rebocadores
<b>Descrição</b>	Criação de um grupo de trabalho permanente entre a CDC e as empresas de rebocadores, com o objetivo de definir estratégias e projetos para reduzir as emissões dos rebocadores que operam no Porto de Fortaleza.
<b>Tipo de medida</b>	Governança & Planejamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Rebocadores
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,188
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Criação de uma instância permanente de diálogo e cooperação entre o porto e as empresas de rebocadores.</li> <li>○ Possibilidade de padronizar métricas, metodologia de inventário e indicadores ambientais para todo o setor de apoio portuário.</li> <li>○ Identificação de oportunidades de eficiência, incluindo otimização de rotas, redução de tempo de espera e uso de motores mais limpos.</li> <li>○ Preparação para projetos estruturantes (rebocadores híbridos, elétricos ou movidos a combustíveis alternativos como HVO, metanol ou hidrogênio).</li> <li>○ Acesso facilitado a financiamentos climáticos e linhas verdes específicas para embarcações de apoio marítimo.</li> <li>○ Fortalecimento da reputação do porto como articulador de soluções de baixo carbono.</li> <li>○ Maior transparência ambiental entre operadores, autoridade portuária e sociedade.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	1,2
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de empresas de rebocadores participantes do grupo.</li> <li>○ Acordos, metas e diretrizes ambientais definidas no âmbito do GT.</li> <li>○ Quantidade de iniciativas implementadas (ex.: pilotos, retrofit, combustíveis sustentáveis).</li> <li>○ Produção de relatórios técnicos e recomendações pelo GT.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Cooperação entre autoridade portuária e rebocadores para projetos de eficiência e primeiros estudos de rebocadores elétricos.</li> <li>○ Porto do Açu: Iniciativas conjuntas para avaliar combustíveis alternativos e otimização das operações de apoio.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Programas de transição para rebocadores híbridos e elétricos com suporte institucional.</li> <li>○ Porto de Antuérpia-Bruges (Bélgica): Parcerias com empresas de rebocadores para introdução de rebocadores movidos a hidrogênio.</li> <li>○ Porto de Los Angeles/Long Beach (EUA): Projetos-piloto de rebocadores totalmente elétricos e incentivos à modernização da frota.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Desenvolvimento de rebocadores com combustíveis sustentáveis como parte da estratégia de carbono zero.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>R2</b>
<b>Medida</b>	Programas de monitoramento de bioincrustação
<b>Descrição</b>	Implementação de programas para monitorar a bioincrustação nos cascos dos rebocadores do Porto de Fortaleza, com o objetivo de identificar aqueles com altos níveis de incrustação biológica que afetam a eficiência no consumo de combustível. O monitoramento pode incluir inspeções visuais, uso de sensores ou análise de dados de desempenho energético.
<b>Tipo de medida</b>	Monitoramento & Dados
<b>Âmbito de aplicação</b>	Rebocadores
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,933
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução do consumo de combustível decorrente da melhora da hidrodinâmica do casco.</li> <li>○ Menor desgaste dos motores e maior vida útil dos equipamentos.</li> <li>○ Aumento da disponibilidade operacional dos rebocadores.</li> <li>○ Diminuição de custos de manutenção corretiva e preventiva.</li> <li>○ Redução de emissões de NOx, SOx e MP.</li> <li>○ Geração de uma base de dados contínua para gestão energética da frota de apoio.</li> <li>○ Possibilidade de integração com sistemas de inteligência operacional (IoT, sensores, algoritmos de eficiência).</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,69
<b>Horizonte temporal</b>	2028-2028
<b>Departamento responsável</b>	CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de rebocadores monitorados anualmente.</li> <li>○ Frequência de inspeções visuais ou coleta de dados via sensores.</li> <li>○ Redução do consumo específico de combustível (litros/hora).</li> <li>○ Percentual de redução do arrasto hidrodinâmico após limpeza ou tratamento.</li> <li>○ Taxa de adesão das empresas de rebocadores ao programa.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Monitoramento da eficiência energética de rebocadores, incluindo análise de casco e consumo.</li> <li>○ Porto do Açu: Programas internos de manutenção preventiva e gestão de desempenho de embarcações de apoio.</li> </ul> <p><b>Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Programas contínuos de inspeção de bioincrustação com uso de sensores e análise de dados.</li> <li>○ Porto de Singapura: Adoção de revestimentos avançados e programas estruturados de monitoramento de casco.</li> <li>○ Porto de Antuérpia-Bruges (Bélgica): Monitoramento da eficiência operacional e do desempenho hidrodinâmico da frota de apoio.</li> <li>○ Porto de Los Angeles/Long Beach (EUA): Iniciativas de eficiência energética que incluem avaliação de casco e propulsão em rebocadores.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>R3</b>
<b>Medida</b>	Estudo de viabilidade do rebocador elétrico
<b>Descrição</b>	Estudo da tecnologia de rebocadores elétricos para avaliar se é adequada para as condições operacionais do Porto de Fortaleza, analisando sua autonomia, potência, tempos de recarga e compatibilidade com as manobras habituais.
<b>Tipo de medida</b>	Transição Tecnológica & Frota
<b>Âmbito de aplicação</b>	Rebocadores
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificação da viabilidade técnica, operacional e econômica de rebocadores 100% elétricos no contexto do Porto de Fortaleza.</li> <li>○ Redução potencial de ruído e poluição atmosférica no entorno operacional.</li> <li>○ Diminuição significativa do consumo de combustíveis fósseis e custos operacionais associados.</li> <li>○ Possibilidade de integração com infraestruturas de recarga rápida no porto.</li> <li>○ Conformidade com padrões ambientais internacionais exigidos por grandes armadores e operadores logísticos.</li> <li>○ Preparação estratégica para captação de recursos de transição energética (BNDES, FINEP, fundos climáticos, cooperação internacional).</li> <li>○ Fomento à inovação tecnológica no setor de apoio marítimo.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,18
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estudo de viabilidade concluído dentro do prazo.</li> <li>○ Avaliação técnica da autonomia necessária para manobras típicas no porto (kWh/turno).</li> <li>○ Análise comparativa entre rebocadores elétricos, híbridos e convencionais.</li> <li>○ Estimativa de emissões evitadas por rebocador substituído.</li> <li>○ Identificação dos requisitos de infraestrutura de recarga (potência, localização, integração com rede).</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Estudo preliminar sobre rebocadores de baixa emissão e projetos-piloto em avaliação.</li> <li>○ Porto do Açu: Parcerias com operadores para avaliação de combustíveis alternativos e futuras soluções elétricas.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Los Angeles/Long Beach (EUA): Operação do primeiro rebocador totalmente elétrico do mundo (eWolf).</li> <li>○ Porto de Antuérpia-Bruges (Bélgica): Introdução de rebocadores híbridos e testes com soluções de hidrogênio.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Projetos avançados de rebocadores elétricos e híbridos no âmbito da transição energética.</li> <li>○ Porto de Vancouver (Canadá): Estudos e pilotos com rebocadores de energia limpa com apoio do governo canadense.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>R4</b>
<b>Medida</b>	Fornecimento de eletricidade durante a espera
<b>Descrição</b>	Instalação de pontos de fornecimento de eletricidade em cais ou áreas de atracação do Porto de Fortaleza para permitir que os rebocadores se conectem à rede elétrica enquanto estão em espera entre manobras.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura Energética
<b>Âmbito de aplicação</b>	Rebocadores
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	2,332
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução imediata de emissões atmosféricas (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, MP) durante tempos de espera.</li> <li>○ Melhoria da qualidade do ar em áreas próximas aos berços e áreas internas do porto.</li> <li>○ Redução significativa de ruído, especialmente em períodos noturnos.</li> <li>○ Menor desgaste de motores e redução de custos de manutenção associados a longos períodos de funcionamento em marcha lenta.</li> <li>○ Contribuição para um ambiente de trabalho mais seguro e saudável para tripulações e equipes em terra.</li> <li>○ Integração com futuras soluções de rebocadores híbridos ou totalmente elétricos.</li> <li>○ Alinhamento com práticas internacionais que vêm sendo adotadas em portos de referência global.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	6,75
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN / CODINF
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de rebocadores conectados à energia em terra por ano.</li> <li>○ Percentual de horas de espera realizadas com uso de eletricidade (vs. motores auxiliares).</li> <li>○ Energia total fornecida durante a espera (MWh/ano).</li> <li>○ Disponibilidade dos pontos de conexão (% uptime).</li> <li>○ Número de terminais/berços equipados com infraestrutura de fornecimento elétrico.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos: Iniciativas para disponibilizar pontos de fornecimento elétrico a embarcações de apoio, reduzindo emissões durante a espera.</li> <li>○ Porto do Açu: Projetos-piloto de conexão elétrica para embarcações de apoio offshore.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Vancouver (Canadá): Infraestrutura de energia em terra para embarcações menores e apoio marítimo.</li> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Pontos de eletrificação para rebocadores e embarcações de suporte, integrados a soluções de energia renovável.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Uso de shore power para rebocadores e pequenas embarcações, com foco em redução de ruído e emissões.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): Implementação de conexões elétricas específicas para embarcações de apoio e operações de curta duração.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>R5</b>
<b>Medida</b>	Programa de certificação ambiental para rebocadores
<b>Descrição</b>	Implementação de um sistema de categorização e certificação verde para os rebocadores que operam no Porto de Fortaleza, baseado em seu nível de emissões, eficiência energética e uso de combustíveis ou tecnologias sustentáveis. Este programa permitirá classificar as embarcações conforme seu desempenho ambiental, facilitando a aplicação de incentivos, bonificações ou reconhecimentos para aquelas de menor impacto. Além disso, a concessão de um selo verde aos rebocadores mais eficientes servirá como estímulo para a transição rumo a uma frota portuária mais limpa e sustentável.
<b>Tipo de medida</b>	Transição Tecnológica & Frota
<b>Âmbito de aplicação</b>	Rebocadores
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	3,6
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estímulo direto à modernização da frota de rebocadores.</li> <li>○ Melhoria da performance ambiental das operações portuárias.</li> <li>○ Reconhecimento público e reputacional para empresas certificadas.</li> <li>○ Incentivo à adoção de combustíveis alternativos (GNL, biocombustíveis, HVO, hidrogênio).</li> <li>○ Promoção da eficiência energética e redução de custos operacionais das embarcações.</li> <li>○ Melhoria da qualidade do ar no entorno do porto.</li> <li>○ Base para implementação futura de tarifas diferenciadas, bonificações ou prioridade operacional.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,626
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de rebocadores certificados por ano.</li> <li>○ Percentual da frota classificada em níveis de maior eficiência ambiental.</li> <li>○ Participação das empresas de rebocadores no programa (% de adesão).</li> <li>○ Número de auditorias e avaliações realizadas por ano.</li> <li>○ Redução do consumo de combustíveis fósseis em rebocadores certificados.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Açu: Programas internos de avaliação ambiental e iniciativas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos por rebocadores.</li> <li>○ Porto de Santos: Iniciativas de monitoramento ambiental e integração de práticas de sustentabilidade para embarcações de apoio.</li> </ul> <p>Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Rotterdam (Holanda): Certificação e monitoramento ambiental de rebocadores com incentivo para embarcações de melhor performance energética.</li> <li>○ Porto de Vancouver (Canadá): Programas de reconhecimento para embarcações de baixa emissão dentro da EcoAction Program.</li> <li>○ Porto de Los Angeles/Long Beach (EUA): Incentivos e requisitos ambientais para operadores de rebocadores, com classificação por níveis de eficiência.</li> <li>○ Porto de Gotemburgo (Suécia): Critérios ambientais específicos para embarcações de apoio, com foco em soluções híbridas e elétricas.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T1</b>
<b>Medida</b>	Melhoria na coleta de dados dos operadores
<b>Descrição</b>	Implementação de sistemas e protocolos para coletar de maneira mais precisa e sistemática os dados de emissões, consumos energéticos e operações dos terminais. Essa melhoria permitirá dispor de informações confiáveis e atualizadas para construir o inventário de emissões, identificar oportunidades de eficiência e projetar medidas de descarbonização baseadas em evidências concretas.
<b>Tipo de medida</b>	Monitoramento & Dados
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,095
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Melhoria significativa da qualidade e integridade das informações reportadas pelos operadores.</li> <li>○ Capacidade ampliada de mapear fontes críticas de consumo energético e emissões.</li> <li>○ Suporte técnico e estratégico para decisões de eficiência energética e transição para combustíveis limpos.</li> <li>○ Alinhamento às melhores práticas internacionais de MRV (Monitoring, Reporting and Verification).</li> <li>○ Aumento da transparência e rastreabilidade dos dados para fins de auditoria, certificações e ESG.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,25
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2026
<b>Departamento responsável</b>	CODSMS / CODGEN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de operadores integrados ao sistema digital de coleta de dados.</li> <li>○ Frequência e completude dos reportes enviados (mensal/trimestral).</li> <li>○ Número de auditorias internas anuais para validação dos dados.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p><b>Brasil</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Itaqui (MA): adoção de protocolos padronizados de reporte por parte dos terminais, integrando dados de consumo e emissões ao sistema corporativo de meio ambiente.</li> <li>○ Porto de Santos (SP): iniciativas de digitalização operacional que incluem coleta estruturada de dados de equipamentos, veículos e movimentações energéticas.</li> </ul> <p><b>Internacionais</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha): sistema unificado de monitoramento energético e inventário de emissões baseado em MRV (Monitoring, Reporting and Verification) e integração com operadores.</li> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): plataforma DataHub com reporte obrigatório de dados operacionais, consumo energético e emissões.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): integração digital com terminais para rastreamento contínuo de combustíveis, emissões e eficiência operacional.</li> <li>○ Porto de Antuérpia-Bruges (Bélgica): sistemas de coleta e análise de dados para apoiar metas de redução de emissões e monitoramento de desempenho energético.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T2</b>
<b>Medida</b>	Instalação de medidores separados para cada terminal/operador
<b>Descrição</b>	Instalação de medidores de eletricidade separados para cada terminal e operador portuário dentro da área de gestão do Porto de Fortaleza, permitindo um monitoramento preciso e específico do consumo energético de cada entidade.
<b>Tipo de medida</b>	Monitoramento & Dados
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,033
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Transparência total do consumo energético por terminal, eliminando estimativas e reduzindo incertezas.</li> <li>○ Possibilidade de definir metas individualizadas de eficiência energética e redução de emissões.</li> <li>○ Suporte a modelos tarifários mais justos e alinhados ao consumo real.</li> <li>○ Facilitação do monitoramento contínuo MRV (Monitoring, Reporting and Verification) e auditorias para certificações ambientais.</li> <li>○ Identificação rápida de anomalias, desperdícios e oportunidades de modernização de equipamentos.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,10
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2026
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de terminais com medidores individualizados instalados.</li> <li>○ Frequência e confiabilidade das leituras energéticas registradas no sistema.</li> <li>○ Redução da diferença entre consumo estimado e consumo real (margem de erro).</li> <li>○ Tempo médio de resposta para detecção e correção de desvios de consumo.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP): avanço em sistemas de monitoramento digital e medição segregada por área operacional.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha): medição individualizada por terminal integrada ao sistema de gestão energética e ao MRV (Monitoring, Reporting and Verification) .</li> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): uso de smart meters conectados ao DataHub para monitoramento em tempo real.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): medição segregada por terminal para suportar metas de redução de consumo e emissões.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T3</b>
<b>Medida</b>	Fornecimento de eletricidade renovável aos operadores
<b>Descrição</b>	Fornecimento de eletricidade de origem renovável para os operadores que obtêm sua energia diretamente da CDC.
<b>Tipo de medida</b>	Engajamento & Operadores / Stakeholders
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	2,34
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Contribuição para metas corporativas de ESG e certificações ambientais.</li> <li>○ Aumento da competitividade dos terminais ao reduzir pegada de carbono por unidade movimentada.</li> <li>○ Estímulo ao uso de contratos de energia renovável (I-RECs, PPA verde ou GD).</li> <li>○ Melhoria da imagem institucional e alinhamento com padrões internacionais de portos verdes.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0
<b>Horizonte temporal</b>	2028-2028
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de energia renovável no mix de fornecimento aos operadores.</li> <li>○ Número de operadores migrados para contratos verdes.</li> <li>○ Volume de MWh de energia renovável fornecida por ano.</li> <li>○ Quantidade de I-RECs adquiridos e aposentados anualmente.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Açu (RJ): adoção de contratos de energia renovável e parcerias com geradores solares.</li> <li>○ Porto de Pecém (CE): iniciativas de suprimento com energia eólica e certificação por I-RECs.</li> <li>○ Portos do Paraná: estudo para transi�o do consumo próprio e dos arrendatários para energia renovável por meio de compra de energia limpa no Mercado livre de energia e certifica�o I-RECs.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Valência (Espanha): contrata�o de 100% de energia renovável para operadores e instala�es portuárias.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): fornecimento integral de energia verde para terminais e sistemas OPS.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): metas obrigatórias de uso de energia renovável pelos terminais até 2030.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T4</b>
<b>Medida</b>	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de eletricidade renovável (com certificado)
<b>Descrição</b>	Implementação de um esquema de incentivos para os terminais que utilizarem eletricidade renovável certificada em suas operações. A CDC oferecerá descontos nas tarifas ou benefícios regulatórios para aqueles que utilizarem eletricidade proveniente de fontes renováveis, verificada por certificados de garantia de origem.
<b>Tipo de medida</b>	Regulação, Incentivos & Contratos
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	2,34
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estímulo direto à transição energética dos terminais.</li> <li>○ Aumento da competitividade e atratividade do porto perante cargas e operadores internacionais.</li> <li>○ Alinhamento a práticas globais de portos verdes e políticas europeias de incentivo a energia limpa.</li> <li>○ Reforço da imagem institucional do Porto de Fortaleza como líder em sustentabilidade no Brasil.</li> <li>○ Promoção do mercado local de energia renovável e de certificações ambientais.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	22
<b>Horizonte temporal</b>	2029-2029
<b>Departamento responsável</b>	CODSMS / CODGEN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de terminais que aderiram ao incentivo.</li> <li>○ Volume (MWh/ano) de eletricidade renovável certificada utilizada pelos operadores.</li> <li>○ Quantidade de certificados I-REC ou Garantia de Origem aposentados anualmente.</li> <li>○ Número de contratos verdes ativos firmados pelos terminais.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto do Açu (RJ): adoção de incentivos e acordos para uso de energia renovável certificada pelos operadores.</li> <li>● Porto de Pecém (CE): integração de energia eólica certificada ao consumo de áreas portuárias e arrendatários.</li> <li>● Portos do Paraná: estudos para incentivos tarifários vinculados ao uso de energia limpa por terminais.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Valência (Espanha): sistema de incentivos vinculado ao uso comprovado de eletricidade 100% renovável.</li> <li>● Porto de Hamburgo (Alemanha): descontos tarifários e requisitos de uso de energia verde para terminais.</li> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): programa de benefícios regulatórios para operadores que migram para energia renovável certificada.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T5</b>
<b>Medida</b>	Incentivos nas taxas/tarifas pelo uso de combustíveis de baixas emissões
<b>Descrição</b>	Implementação de um sistema de incentivos econômicos direcionado a operadores e terminais portuários que utilizem combustíveis de baixas emissões. Os incentivos podem incluir descontos nas tarifas portuárias, redução de taxas pelo uso de combustíveis sustentáveis ou acesso prioritário a determinadas infraestruturas portuárias.
<b>Tipo de medida</b>	Regulação, Incentivos & Contratos
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,41
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estímulo à adoção de combustíveis sustentáveis no transporte interno e em equipamentos portuários.</li> <li>○ Atração de armadores e operadores globais com metas de descarbonização agressivas.</li> <li>○ Incentivo ao desenvolvimento regional de cadeias de combustíveis limpos (H2V, biocombustíveis, biogás/biometano).</li> <li>○ Melhoria da qualidade do ar local e redução de poluentes atmosféricos (NOx, material particulado).</li> <li>○ Contribuição para a conformidade com regras internacionais, como CII e FuelEU Maritime.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	21,0
<b>Horizonte temporal</b>	2030-2030
<b>Departamento responsável</b>	CODSMS / CODGEN / CODGEP
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de operadores que aderiram ao programa de incentivos.</li> <li>○ Volume de combustíveis sustentáveis utilizados por ano (litros/toneladas).</li> <li>○ Número de equipamentos convertidos para uso de combustíveis de baixas emissões.</li> <li>○ Quantidade de descontos tarifários concedidos vinculados ao uso de combustíveis sustentáveis.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Açu (RJ): iniciativas de incentivo ao uso de HVO e combustíveis alternativos em operações terrestres.</li> <li>○ Porto de Paranaguá (PR): estudos para adoção de combustíveis de baixa emissão em veículos e equipamentos portuários.</li> <li>○ Porto de Santos (SP): projetos-piloto de uso de biocombustíveis avançados no transporte interno e equipamentos de pátio.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): incentivos tarifários para embarcações e operadores que utilizam combustíveis sustentáveis.</li> <li>○ Porto de Singapura: programa de redução de taxas portuárias para o uso de combustíveis de baixa emissão, incluindo metanol e biocombustíveis.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): adoção de programas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos para equipamentos e caminhões portuários.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T6</b>
<b>Medida</b>	Simplificação do processo de instalação de energia renovável para operadores portuários
<b>Descrição</b>	Facilitação dos procedimentos para que os operadores possam solicitar e implementar projetos de energia renovável em suas instalações dentro do Porto de Fortaleza. Isso inclui definir requisitos técnicos, critérios de viabilidade e autorizações necessárias, facilitando a adoção de energia renovável in loco.
<b>Tipo de medida</b>	Engajamento & Operadores / Stakeholders
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,18
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Redução de barreiras administrativas para adoção de energia renovável.</li> <li>○ Aceleração da implementação de projetos próprios dos operadores.</li> <li>○ Maior previsibilidade técnica e regulatória para novos investimentos.</li> <li>○ Estímulo à diversificação da matriz energética portuária.</li> <li>○ Diminuição da dependência da rede elétrica tradicional.</li> <li>○ Valorização da reputação do porto como facilitador da transição energética.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,24
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODGEN / CODGEP
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de projetos renováveis aprovados e implementados por operadores.</li> <li>○ Tempo médio de análise e aprovação de solicitações técnicas.</li> <li>○ Capacidade instalada (kWp/kW) de energia renovável gerada nos terminais.</li> <li>○ Percentual de operadores com sistemas próprios de geração renovável.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto do Pecém (CE): processos simplificados para projetos de energia solar em áreas operacionais.</li> <li>○ Porto do Açu (RJ): facilitação regulatória para implantação de energia solar e eólica pelos terminais.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Valência (Espanha): adoção de guias técnicos e fast-track para instalações fotovoltaicas em terminais.</li> <li>● Porto de Roterdã (Holanda): regulamentação clara e ágil para projetos renováveis em áreas arrendadas.</li> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): política facilitadora para microgeração solar e sistemas de energia limpa dentro do porto.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>T7</b>
<b>Medida</b>	Incluir critérios de sustentabilidade nos novos contratos de concessão
<b>Descrição</b>	Incorporação de requisitos e pontuações ambientais nos editais de licitação para novos contratos de arrendamento, tais como o uso de combustíveis alternativos, energias renováveis, eficiência energética ou planos de redução de emissões.
<b>Tipo de medida</b>	Regulação, Incentivos & Contratos
<b>Âmbito de aplicação</b>	Terminais
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,36
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Integração de metas ambientais no modelo de negócios dos terminais ao longo de toda a concessão.</li> <li>○ Atração de operadores com maior maturidade ESG e capacidade técnica para investir em inovação.</li> <li>○ Garantia de alinhamento contínuo do porto às diretrizes nacionais e internacionais de descarbonização.</li> <li>○ Incentivo a tecnologias limpas e combustíveis sustentáveis desde o início do contrato.</li> <li>○ Fortalecimento da competitividade do Porto de Fortaleza frente a portos globais.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0
<b>Horizonte temporal</b>	2030-2030
<b>Departamento responsável</b>	CODGEN / CODJUR
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de novos contratos que incorporam critérios ambientais e metas de descarbonização.</li> <li>○ Número de arrendatários que implementam medidas de energia renovável e combustíveis alternativos.</li> <li>○ Presença de cláusulas de desempenho ambiental (KPIs ESG) nos contratos.</li> <li>○ Proporção de propostas em licitações que atendem aos requisitos ambientais mínimos e avançados.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Santos (SP): inclusão de requisitos ambientais e de eficiência energética nos novos contratos de arrendamento.</li> <li>● Porto do Açu (RJ): exigências de sustentabilidade e critérios técnicos ESG nos contratos com operadores industriais e logísticos.</li> <li>● Portos do Paraná: avanços na integração de requisitos ambientais e indicadores ESG nos editais de arrendamento.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Roterdã (Holanda): contratos que exigem eficiência energética, uso de combustíveis alternativos e investimentos em descarbonização.</li> <li>● Porto de Valência (Espanha): arrendamentos com critérios ambientais obrigatórios e pontuação adicional por propostas verdes.</li> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): exigência de planos de redução de emissões e adoção de tecnologias limpas como condição contratual.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>C1</b>
<b>Medida</b>	Grupo de trabalho do transporte terrestre
<b>Descrição</b>	Criação de um grupo de trabalho composto pela CDC, operadores logísticos, empresas da região e autoridades locais, com o objetivo de analisar e promover a transição para soluções de transporte terrestre mais sustentáveis para o deslocamento de mercadorias entre o porto e a região.
<b>Tipo de medida</b>	Governança & Planejamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Caminhões
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,01
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Melhoria da qualidade do ar na região portuária e urbana.</li> <li>○ Articulação intersetorial entre porto, empresas, transportadoras e poder público.</li> <li>○ Promoção de rotas mais eficientes e redução de congestionamentos.</li> <li>○ Criação de agenda de inovação e modernização logística regional.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,72
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2028
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de reuniões, participantes e resoluções do grupo de trabalho.</li> <li>○ Percentual da frota rodoviária que migra para combustíveis sustentáveis ao longo dos anos.</li> <li>○ Número de iniciativas, pilotos ou programas implementados a partir do grupo.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Santos (SP): grupos de trabalho e projetos-piloto para caminhões movidos a gás e elétricos.</li> <li>● Porto de Pecém (CE): articulação com Governo do Estado e empresas para corredores logísticos verdes.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): Clean Truck Program com articulação multissetorial para reduzir emissões de caminhões.</li> <li>● Porto de Roterdã (Holanda): parcerias com transportadores para criação de corredores logísticos de baixas emissões.</li> <li>● Porto de Valência (Espanha): programas com operadores logísticos e municípios para reduzir emissões de transporte rodoviário.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>C2</b>
<b>Medida</b>	Estudo do hinterlândia e potencial de corredores verdes
<b>Descrição</b>	Realização de um estudo sobre o hinterlândia do Porto de Fortaleza, com foco na identificação de oportunidades para o desenvolvimento de corredores verdes. Este estudo analisará as rotas de transporte atuais e futuras, avaliando o potencial de integração de soluções sustentáveis, como a eletrificação de infraestruturas e o uso de combustíveis alternativos.
<b>Tipo de medida</b>	Governança & Planejamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Caminhões
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificação de oportunidades concretas para criação de corredores logísticos de baixas emissões.</li> <li>○ Mapeamento de rotas prioritárias para adoção de combustíveis sustentáveis e tecnologias limpas.</li> <li>○ Base técnica para futuros investimentos em infraestrutura verde (eletrificação, biometano, hidrogênio).</li> <li>○ Fortalecimento da integração entre porto, municípios, operadores e setor produtivo regional.</li> <li>○ Redução futura de congestionamentos e emissões atmosféricas por rotas otimizadas.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,3
<b>Horizonte temporal</b>	2027-2040
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de rotas e corredores identificados como prioritários para descarbonização.</li> <li>○ Convergência do estudo com planos municipais e estaduais de mobilidade sustentável.</li> <li>○ Início de projetos-piloto derivados das recomendações do estudo.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porto de Santos (SP): estudos de hinterlândia com foco em corredores logísticos e transporte de baixas emissões.</li> <li>• Porto do Pecém (CE): análises para integração de rotas regionais com potenciais corredores verdes.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Porto de Roterdã (Holanda): planejamento estratégico de corredores verdes conectando o porto ao interior da Europa.</li> <li>• Porto de Los Angeles (EUA): estudos de rotas prioritárias para caminhões limpos e corredores verdes.</li> <li>• Porto de Valência (Espanha): análises integradas de hinterlândia para desenvolvimento de corredores logísticos sustentáveis.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>C3</b>
<b>Medida</b>	Esquema de categorização e etiquetas verdes para caminhões
<b>Descrição</b>	Implementação de um sistema de categorização e etiquetagem verde para os caminhões que operam no porto, baseado no nível de emissões e no uso de tecnologias limpas. Este sistema permitirá classificar os caminhões em diferentes categorias de acordo com seu impacto ambiental, facilitando a aplicação de incentivos e descontos para veículos de baixas emissões. Além disso, serão concedidas etiquetas verdes aos caminhões que utilizarem combustíveis alternativos ou tecnologias de baixo impacto, incentivando a transição para uma frota mais sustentável.
<b>Tipo de medida</b>	Engajamento & Operadores / Stakeholders
<b>Âmbito de aplicação</b>	Caminhões
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,02
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Melhoria da qualidade do ar e redução de ruído no entorno portuário.</li> <li>○ Estímulo à renovação da frota que atende o porto.</li> <li>○ Aumento da eficiência logística por meio da priorização de caminhões mais limpos.</li> <li>○ Convergência com programas internacionais de “Low Emission Zones” e etiquetagem ambiental.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	1,3
<b>Horizonte temporal</b>	2028-2029
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de caminhões movidos a combustíveis alternativos que passam a operar no porto.</li> <li>○ Percentual da frota que recebe etiqueta verde ao longo dos anos.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP): iniciativas para classificação de caminhões por idade, emissões e padrão tecnológico.</li> <li>○ Porto do Açu (RJ): projetos-piloto com frotas utilizando HVO e combustíveis de baixo carbono.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): Clean Truck Program com etiqueta verde e restrições para caminhões de alto impacto.</li> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): categorização ambiental de caminhões e prioridade logística para veículos limpos.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>C4</b>
<b>Medida</b>	Implementar sistema inteligente de gestão dos acessos ao porto (Pré Gate)
<b>Descrição</b>	Verificar a existência de um sistema digital de gestão de turnos e tráfego interno que coordene a entrada, carga e saída de caminhões, evitando esperas desnecessárias e congestionamento nas áreas operacionais.
<b>Tipo de medida</b>	Operações & Eficiência Logística
<b>Âmbito de aplicação</b>	Caminhões
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,03
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aumento da eficiência operacional e fluidez logística.</li> <li>○ Diminuição de congestionamentos e redução de conflitos operacionais.</li> <li>○ Melhoria na segurança viária interna.</li> <li>○ Suporte à digitalização e integração dos sistemas de controle de acesso.</li> <li>○ Preparação para políticas futuras de agendamento eletrônico e janelas de atracação logística.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	2,85
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2027
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Percentual de caminhões agendados através do sistema digital.</li> <li>○ Tempo médio de espera dos caminhões para entrada e saída do porto.</li> <li>○ Redução do tempo em marcha lenta (motor ocioso) nas áreas operacionais.</li> <li>○ Número de incidentes operacionais evitados por melhor ordenamento do tráfego.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Santos (SP): sistema CARGA ONLINE e agendamento eletrônico para reduzir filas e marcha lenta.</li> <li>● Porto do Pecém (CE): iniciativas de ordenamento logístico e sistemas digitais de gestão de entrada de caminhões.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Roterdã (Holanda): plataforma digital PortBase para gestão inteligente de acessos e fluxos de caminhões.</li> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): sistema de agendamento de caminhões que reduziu drasticamente tempos de espera.</li> <li>● Porto de Valência (Espanha): digitalização dos acessos com integração de plataformas logísticas e controle de tráfego.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>F1</b>
<b>Medida</b>	Grupo de trabalho de logística e digitalização das operações ferroviárias
<b>Descrição</b>	Criação de um grupo de trabalho técnico composto pela CDC, operadores ferroviários, terminais, empresas logísticas e entidades governamentais, com o objetivo de melhorar a eficiência do transporte ferroviário no Porto de Fortaleza por meio de soluções logísticas avançadas e ferramentas de digitalização. O grupo abordará temas como a troca de dados em tempo real, a rastreabilidade das cargas, a coordenação de horários e o uso de plataformas digitais para otimizar a gestão ferroviária.
<b>Tipo de medida</b>	Governança & Planejamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Ferrovias
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Incentivo ao uso do modal ferroviário — modal de menor emissão por tonelada transportada.</li> <li>○ Preparação para implantação de corredores ferroviários verdes.</li> <li>○ Melhoria da coordenação entre operadores ferroviários, terminais e autoridades.</li> <li>○ Redução de tempos de espera, retrabalho e conflitos operacionais na ferrovia.</li> <li>○ Aumento da confiabilidade e previsibilidade do transporte ferroviário.</li> <li>○ Base técnica para digitalização integral da cadeia logística ferroviária.</li> <li>○ Maior rastreabilidade e segurança operacional das cargas.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	0,12
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2050
<b>Departamento responsável</b>	CODGEP / CODINF / CODMAN / CODSMS
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Número de reuniões, participantes e resoluções aprovadas pelo grupo de trabalho.</li> <li>○ Aumento do volume transportado por ferrovia (toneladas/ano).</li> <li>○ Grau de integração entre sistemas (CDC – operadores – terminais – ferrovia).</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Santos (SP): integração digital entre Pátio Regulador, Ferrovia e terminais via Porto Sem Papel e sistemas logísticos avançados.</li> </ul> <p>Portos Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): integração total de dados ferroviários via PortBase e coordenação digital de janelas logísticas.</li> <li>○ Porto de Hamburgo (Alemanha): sistemas avançados de rastreamento e sincronização do tráfego ferroviário portuário.</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha): digitalização progressiva do transporte ferroviário e coordenação de horários para eficiência logística.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>E1</b>
<b>Medida</b>	Consumo de energia procedente de fotovoltaica
<b>Descrição</b>	CDC instala placas fotovoltaicas e consome a eletricidade produzida.
<b>Tipo de medida</b>	Infraestrutura Energética
<b>Âmbito de aplicação</b>	Energias Renováveis
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,158
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Diminuição dos custos operacionais com energia no médio/longo prazo.</li> <li>○ Aumento da resiliência energética do porto.</li> <li>○ Reforço do posicionamento ambiental da CDC perante operadores e stakeholders.</li> <li>○ Possibilidade de integração futura com armazenamento de energia e microgrids.</li> <li>○ Contribuição para metas estaduais e federais de energias renováveis.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	43
<b>Horizonte temporal</b>	2028-2050
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Geração anual de energia fotovoltaica (MWh/ano).</li> <li>○ Percentual da demanda da CDC suprida por energia solar.</li> <li>○ Fator de desempenho dos módulos FV (PR – Performance Ratio).</li> <li>○ Redução do custo médio de energia (R\$/MWh).</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Santos (SP): projetos-piloto de energia solar em áreas operacionais e administrativas.</li> <li>● Porto do Açu (RJ): uso crescente de energia renovável contratada e geração distribuída solar.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Porto de Valência (Espanha): implantação de usinas solares no terminal e cobertura de armazéns.</li> <li>● Porto de Roterdã (Holanda): instalação de painéis FV em telhados e áreas logísticas.</li> <li>● Porto de Los Angeles (EUA): microgeração solar para redução do consumo da rede em edifícios portuários.</li> </ul>

<b>Código da ação</b>	<b>E2</b>
<b>Medida</b>	Fomento aos terminais para que usem maquinaria de hidrogênio verde produzida no porto.
<b>Descrição</b>	A CDC produz hidrogênio verde e fomenta que os terminais substituam maquinaria a diesel por hidrogênio
<b>Tipo de medida</b>	Gestão de Energia
<b>Âmbito de aplicação</b>	Infraestrutura Energética
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	0,21
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Estímulo à adoção de tecnologias de emissão zero pelos terminais.</li> <li>○ Atração de novos investimentos em inovação e infraestrutura de hidrogênio no porto.</li> <li>○ Fortalecimento da posição do Porto de Fortaleza como polo regional de energias renováveis.</li> <li>○ Melhoria da qualidade do ar e redução de ruído em operações portuárias.</li> <li>○ Integração com projetos de hidrogênio verde do Estado do Ceará e com a agenda de exportação de H<sub>2</sub>.</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	12,6
<b>Horizonte temporal</b>	2035-2050
<b>Departamento responsável</b>	CODMAN
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Volume anual de hidrogênio verde produzido pela CDC (ton H<sub>2</sub>/ano).</li> <li>○ Quantidade de terminais que passam a utilizar maquinário movido a hidrogênio.</li> <li>○ Número de equipamentos convertidos/substituídos (guindastes, empilhadeiras, reach stackers, etc.).</li> <li>○ Parcerias e projetos-piloto implementados com operadores portuários.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	<p>Brasil</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Complexo do Pecém (CE): projetos em desenvolvimento para produção e uso de hidrogênio verde no setor industrial.</li> <li>○ Porto do Açu (RJ): iniciativas de hubs de H<sub>2</sub>V e estímulo à adoção futura por operadores.</li> </ul> <p>Internacionais</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Porto de Roterdã (Holanda): programas para substituição de maquinário portuário por equipamentos movidos a hidrogênio.</li> <li>○ Porto de Valência (Espanha): testes com reach stackers e equipamentos de pátio movidos a hidrogênio verde.</li> <li>○ Porto de Los Angeles (EUA): pilotos com caminhões e maquinário zero-carbono baseados em células de combustível a H<sub>2</sub>.</li> </ul>

Outras ações	
<b>Medida</b>	Colaboração com universidades, centros de pesquisa, redes nacionais e internacionais e grupos de trabalho que promovem inovação, eficiência energética, mobilidade sustentável e descarbonização portuária.
<b>Descrição</b>	Implementação de um conjunto de ações complementares voltadas ao fortalecimento institucional da CDC na agenda de transição energética. Isso inclui: (i) colaboração com universidades e centros de pesquisa em projetos de inovação, eficiência energética e descarbonização portuária; (ii) participação e desenvolvimento de programas de capacitação e sensibilização interna sobre eficiência energética e sustentabilidade para o corpo técnico da CDC e concessionários; (iii) participação ativa na Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos, possibilitando alinhamento com boas práticas nacionais e identificação de oportunidades de novos projetos; e (iv) participação em redes e fóruns internacionais para atualização contínua sobre tendências globais de descarbonização.
<b>Tipo de medida</b>	Engajamento
<b>Âmbito de aplicação</b>	Autoridade Portuária
<b>Potencial de redução de emissões/ano (kt CO<sub>2</sub>)</b>	Não se aplica.
<b>Benefícios adicionais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fortalecimento institucional</li> <li>○ Capacitação técnica e inovação</li> <li>○ Alinhamento a tendências internacionais</li> </ul>
<b>Orçamento (MR\$)</b>	2
<b>Horizonte temporal</b>	2026-2029
<b>Departamento responsável</b>	
<b>Indicadores de acompanhamento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Total de trabalhadores capacitados em transição energética e descarbonização.</li> <li>○ Total de projetos de pesquisa e desenvolvimento com centros de pesquisa.</li> <li>○ Participação anual em fóruns e redes nacionais e internacionais de descarbonização portuária.</li> </ul>
<b>Exemplos de implementação</b>	Brasil <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Associação anual à Aliança Brasileira para Descarbonização de Portos</li> <li>○ CDC e Fundación Valenciaport: estudos para elaboração do plano de descarbonização</li> <li>○ Porto de Suape e Universidade Federal de Pernambuco: cooperação em estudos de economia circular e aproveitamento energético de resíduos.</li> </ul> Internacionais <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capacitações internacionais em Transição Energética e Descarbonização, como a participada pela CDC em 2024 na Espanha.</li> </ul>