

16 de julho de 2026
Agência Dinamarquesa de Energia

Capacidades atuais e perspectivas de portos brasileiros para projetos de energia eólica offshore

Imagem gerada por IA

Capacidades atuais e perspectivas de portos brasileiros para projetos de energia eólica offshore

Nota do tradutor: esta versão em português, finalizada em 16 de julho de 2026, foi produzida com o auxílio de ferramenta de tradução automática baseada em inteligência artificial, a partir do documento original em língua inglesa, e posteriormente revisada. Recomenda-se cautela na interpretação de termos técnicos e expressões específicas. Em caso de dúvida, ambiguidade ou divergência de sentido entre as versões, a versão em inglês deve ser considerada a referência oficial e prevalecente.

N.º do projeto	N.º do documento				
A298922	A298922-01				
Versão	Data de emissão	Descrição	Elaborado	Verificado	Aprovado
0,1	20/04/2026	Relatório preliminar	Equipe LODV, ALCK, COSRO	VGFU, MOTI, RDI	VGFU
0,2	12/05/2026	Relatório preliminar – versão 2	Equipe LODV, ALCK, COSRO	VGFU, MOTI	VGFU
0,3	26/06/2026	Relatório preliminar – versão 3	Equipe LODV, MOTI, COSRO	VGFU, ALCK	VGFU
1.0	08/07/2026	Relatório final	Equipe LODV, MOTI, COSRO	ALCK VGFU	ALCK VGFU
2.0	13/07/2026	Relatório final - versão 2	LODV	VGFU	VGFU

Índice

Resumo executivo.....	1
Agradecimentos	13
Abreviaturas	14
1 Introdução.....	16
1.1 Contexto.....	16
1.2 Escopo do estudo	16
1.3 Visão geral de estudos anteriores relevantes	18
1.4 Zonas e regiões prioritárias para a energia eólica offshore no Brasil	20
1.5 Visão geral da metodologia	22
1.6 Visão geral da energia eólica offshore	23
1.7 Premissas do estudo para o desenvolvimento da energia eólica offshore	25
2 O papel dos portos no desenvolvimento da energia eólica offshore	32
2.1 Introdução	32
2.2 Papel dos portos no ciclo de vida da energia eólica offshore	32
2.3 Utilização dos portos na instalação de turbinas eólicas.....	34
2.4 Utilização portuária na operação e manutenção (O&M) de turbinas eólicas.....	48
2.5 Requisitos portuários típicos para energia eólica offshore.....	50
3 Processo de triagem portuária	53
3.1 Introdução	53
3.2 Etapa 1 – Banco de dados da lista de portos.....	59
3.3 Etapa 2 – Triagem preliminar	60
3.4 Etapa 3 – Triagem Intermediária	62
3.5 Etapa 4 – Triagem Detalhada.....	67
3.6 Etapa 5 – Seleção Final.....	72
3.7 Resumo da Seleção Final.....	84
4 Avaliação detalhada dos portos	87
4.1 Introdução	87
4.2 Resumo das visitas ao local	88
4.3 Pecém.....	90
4.4 Suape.....	104
4.5 Porto Central.....	118
4.6 Açú.....	127
4.7 Imbituba	138
4.8 Rio Grande.....	150
4.9 Resumo dos custos estimados e cronogramas.....	160

5	Estrutura regulatória, institucional e de propriedade	162
5.1	Introdução	162
5.2	Marco regulatório existente	162
5.3	Visão geral da estrutura de governança portuária	169
5.4	Lacunas regulatórias e possíveis caminhos.....	177
5.5	Experiências internacionais	180
5.6	Modelos de desenvolvimento portuário para portos eólicos offshore brasileiros.....	192
6	Conclusões e próximos passos	199
6.1	Conclusões	199
6.2	Principais recomendações.....	202
6.3	Recomendações para estudos futuros.....	204
	Referências	208
	Anexos	209
	Apêndice 1: Visão geral dos portos	209
	Apêndice 2: Portos desmarcadas	216
	Anexo 3 – Solicitação de informações.....	223

Resumo executivo

Contexto e objetivo

A Dinamarca e o Brasil colaboram por meio de uma parceria bilateral no setor de energia para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil. Após a aprovação da Lei de Energia Eólica Offshore (Lei nº 15.097/2025), espera-se que a energia eólica offshore desempenhe um papel cada vez mais importante na transição energética do Brasil.

Nesse contexto, a Agência Dinamarquesa de Energia (DEA) contratou a COWI para avaliar a adequação dos portos brasileiros ao desenvolvimento da energia eólica offshore e para identificar os marcos regulatórios e de investimento necessários para viabilizar tais funções. Este relatório apresenta as conclusões desse estudo.

O estudo abrange a avaliação das instalações portuárias brasileiras em três regiões costeiras — Nordeste, Sudeste e Sul — e aborda dois cenários de desenvolvimento da energia eólica offshore: **Large Offshore** (turbinas de 15 a 20 MW, a mais de 20 km da costa) e **Nearshore** (turbinas de 6 a 8 MW, a até 20 km da costa). A energia eólica offshore flutuante está excluída do escopo deste estudo. Dado o extenso potencial do Brasil para projetos de fundo fixo e a maior maturidade tecnológica e competitividade de custo de estruturas de fundo fixo, essa representa o foco mais relevante para o planejamento de desenvolvimento no curto prazo. A energia eólica flutuante também imporia requisitos portuários significativamente maiores do que a de fundo fixo, por exemplo, áreas maiores de armazenamento e montagem, cais mais longos e de maior capacidade, águas mais profundas e armazenamento aquático dedicado para unidades aguardando reboque, o que se traduziria em maiores custos de modernização e prazos mais longos para o desenvolvimento portuário, que estão fora do horizonte de curto prazo deste estudo. Recomenda-se, portanto, uma avaliação específica da energia eólica offshore flutuante como tema para estudos futuros.

O Contexto da Energia Eólica Offshore no Brasil

O Brasil possui um dos maiores potenciais eólicos offshore do mundo, combinando um litoral que se estende por mais de 7.000 km com recursos eólicos consistentes e de alta qualidade nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

O Nordeste se destaca por suas condições particularmente favoráveis, com velocidades médias anuais do vento entre as mais altas do mundo e perfis batimétricos rasos, adequados para o desenvolvimento de projetos com fundação fixa. As regiões Sudeste e Sul oferecem vantagens complementares em termos de proximidade com os principais centros industriais e de consumo, além da infraestrutura portuária e logística já existente.

O contexto regulatório avançou significativamente com a aprovação da Lei de Energia Eólica Offshore (Lei nº 15.097/2025), que estabeleceu o primeiro marco legal abrangente para o setor, reduzindo a incerteza jurídica e criando as condições para o avanço do desenvolvimento de projetos. O atual cadastro de licenciamento do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2026) lista projetos que totalizam mais de 134 GW de capacidade proposta nas três regiões litorâneas, refletindo um forte interesse por parte dos desenvolvedores.

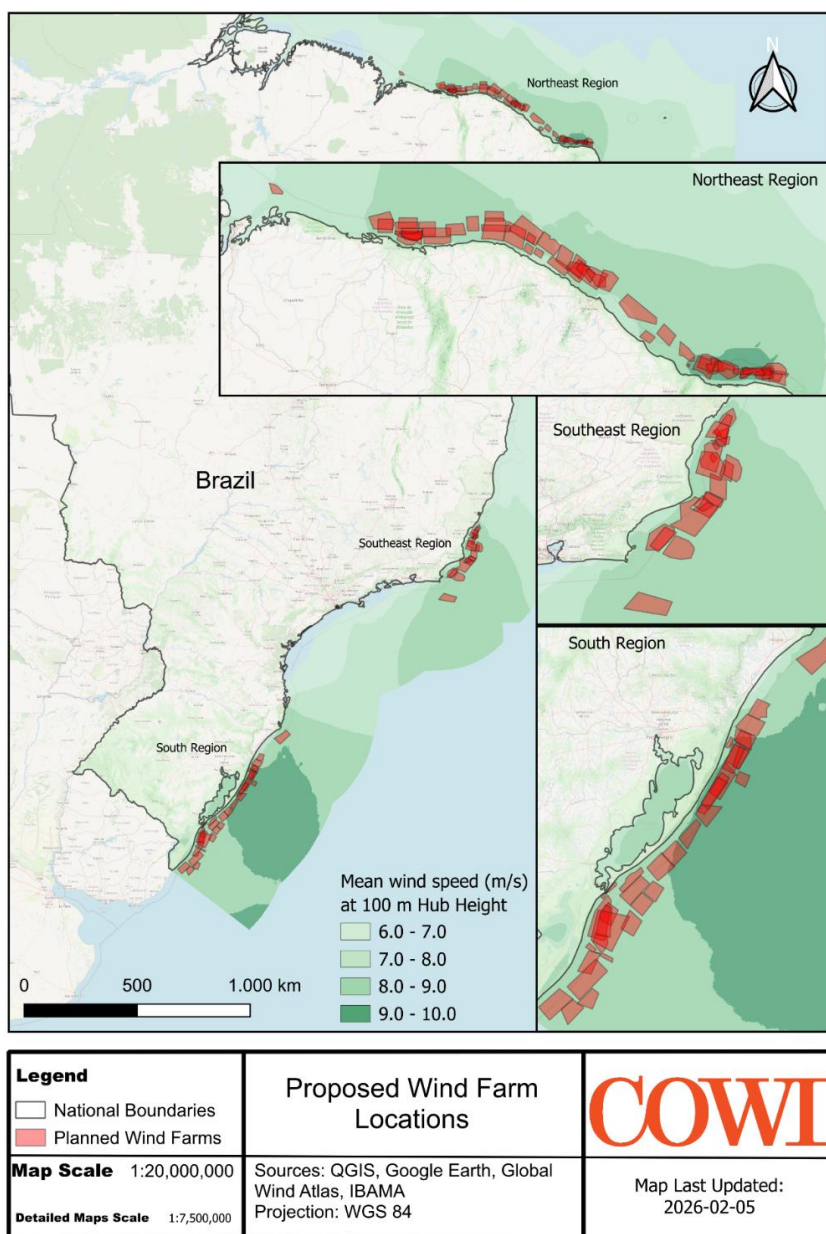


Figura 0-1 Distribuição dos parques eólicos offshore propostos ao longo da costa brasileira sobrepostos a dados de velocidade média do vento

Mesmo a concretização parcial desse pipeline representaria uma adição transformadora ao sistema energético brasileiro e uma demanda sustentada, ao longo de vários anos, por serviços de construção portuária e de operação e manutenção.

O papel dos portos no desenvolvimento da energia eólica offshore

Os portos são uma infraestrutura essencial para o setor eólico offshore. Eles atuam como os principais centros de fabricação, pré-montagem, agrupamento, carregamento e operações e manutenção de parques eólicos offshore ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. A disponibilidade, a capacidade e o cronograma da infraestrutura portuária têm influência direta no custo, no cronograma e na viabilidade geral dos projetos eólicos offshore — especialmente em suas fases iniciais, quando as cadeias de suprimentos são estabelecidas e as campanhas de instalação têm prazos apertados.

Para a construção e instalação, os portos de preparação devem oferecer comprimento de cais e capacidade de suporte suficientes para acomodar o manuseio e o armazenamento temporário de

componentes grandes e pesados — fundações monopilares, peças de transição, seções de torre, naceles e pás —, bem como as operações de atracação e carregamento de embarcações especializadas de instalação, incluindo embarcações jack-up e barcas para cargas pesadas.

Para as operações e manutenção, os portos devem oferecer instalações de base dedicadas e seguras para embarcações de transporte de tripulação, embarcações de operação de serviço, armazenamento de peças de reposição e oficinas de manutenção, idealmente localizadas a uma distância de 100 a 200 km do parque eólico, dependendo do tipo de embarcação e da escala do projeto.

Estabelecer ou modernizar a infraestrutura portuária para atender a esses requisitos é um processo que exige grande investimento de capital e é demorado. A experiência internacional mostra consistentemente que são necessários prazos de cinco a sete anos, ou mais, desde o planejamento inicial até a prontidão operacional. Considerando o cronograma de implantação previsto pelo Brasil para 2032–2035, isso torna o período atual a janela crítica para decisões de investimento que afetam a infraestrutura portuária.

Triagem de portos

O estudo foi estruturado em torno de um **processo de triagem em cinco etapas** aplicado a um banco de dados inicial de 43 portos brasileiros, com base em parâmetros técnicos estabelecidos por meio da experiência internacional da COWI em estudos de energia eólica offshore e portuários, incluindo estudos portuários anteriores encomendados pela DEA no Vietnã, na Turquia e na Índia. A triagem aplicou progressivamente critérios que abrangiam a distância até os locais propostos para parques eólicos offshore, profundidade e largura do canal, dimensões do raio de giro, comprimento e capacidade de carga do cais, disponibilidade de área de pátio e potencial de desenvolvimento mais amplo, traduzindo-os em limites quantificados para os cenários aqui definidos como Large Offshore e Nearshore.

Partindo de 43 portos, o processo reduziu o conjunto de candidatos por meio de etapas sucessivas: uma revisão inicial do banco de dados (43 portos), triagem preliminar (43 para 34), triagem intermediária (34 para 18), triagem refinada (18 para 12) e seleção final (12 para 6).

Tabela 0-1 Processo de triagem portuária em cinco etapas e resultados

Etapas	Crítérios aplicados	Portos restantes
Etapas 1 – Banco de dados de portos	Mapeamento inicial dos portos costeiros brasileiros	43
Etapas 2 – Triagem preliminar	Distância até as zonas de parques eólicos offshore, acesso básico à navegação	34
Etapas 3 – Triagem intermediária	Profundidade do canal, raio de giro, comprimento do cais	18
Etapas 4 – Triagem detalhada	Capacidade de suporte, área do pátio, potencial de desenvolvimento	12
Etapas 5 – Seleção final	Respostas à solicitação de informações (RfI), visitas ao local, alinhamento estratégico	6

O termo “Seleção Final” refere-se especificamente à identificação de dois portos por região para avaliação técnica detalhada no âmbito deste estudo. Isso não implica que outros portos sejam inadequados para o desenvolvimento da energia eólica offshore. Vários portos excluídos demonstraram potencial genuíno e podem se tornar cada vez mais relevantes à medida que o mercado amadurece. Os seis portos selecionados representam os candidatos mais fortes neste momento, com base nas informações disponíveis, e não uma classificação exaustiva ou definitiva do potencial portuário para energia eólica offshore no Brasil.

Portos selecionados

Seis portos foram selecionados para avaliação detalhada — dois por região — com base em seu alinhamento geral com critérios espaciais, técnicos e estratégicos:

Nordeste: Porto de Pecém (Ceará) e Porto de Suape (Pernambuco)

Sudeste: Porto Central (Espírito Santo) e Porto de Açu (Rio de Janeiro)

Sul: Porto de Imbituba (Santa Catarina) e Porto de Rio Grande – Estaleiro EBR (Rio Grande do Sul)

A seleção foi validada posteriormente por meio de visitas *in loco* a cinco dos seis portos pré-selecionados em março de 2026, o que permitiu a verificação direta das condições portuárias, a confirmação dos principais parâmetros técnicos e um envolvimento das partes interessadas com as autoridades portuárias. O Porto Central foi avaliado por meio de uma reunião online, devido ao estágio inicial de seu desenvolvimento físico.

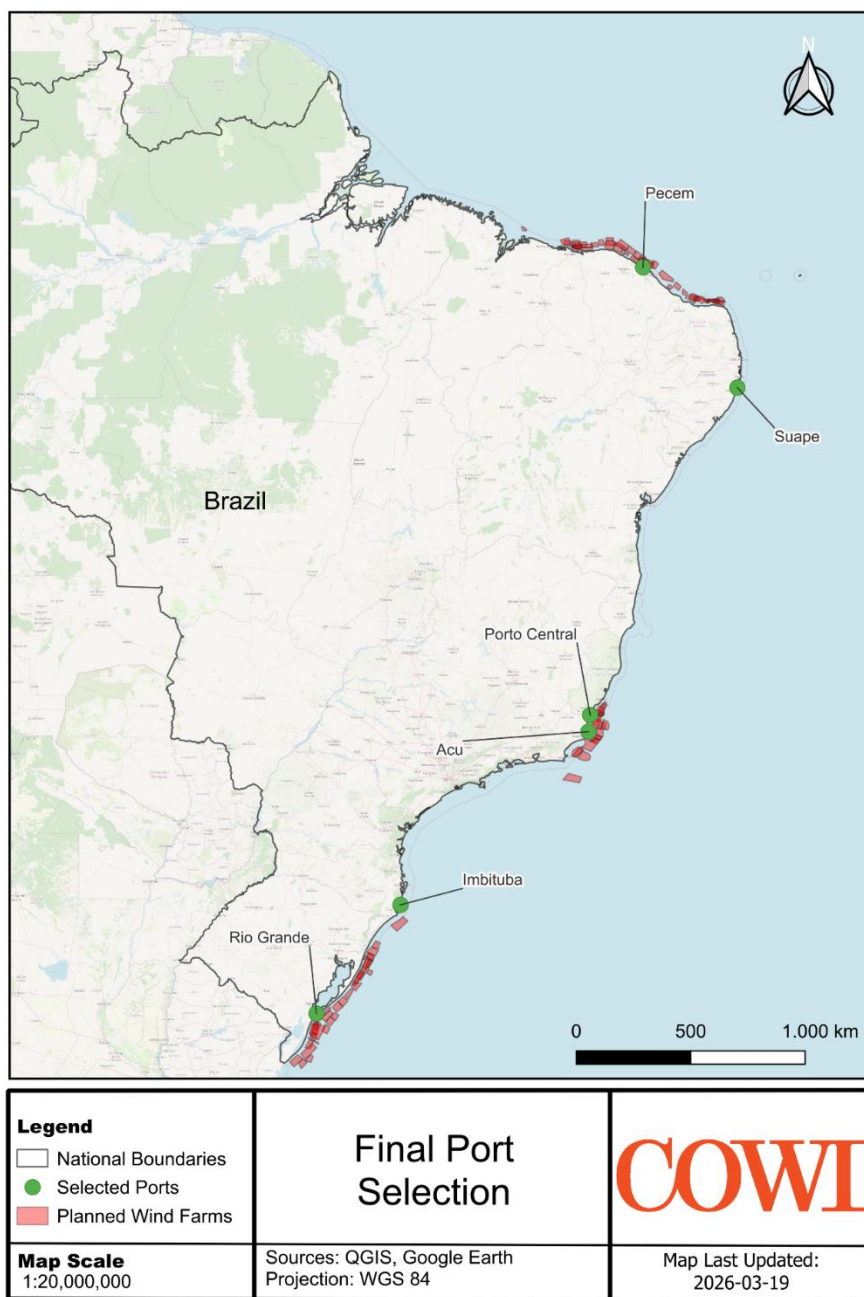


Figura 0-2 Resultados finais da seleção de portos

Candidatos adicionais em ascensão

Dois projetos adicionais de desenvolvimento portuário — no Piauí e no Rio Grande do Norte — foram identificados durante o processo, com base no feedback das partes interessadas. Ambos manifestaram interesse em atividades de energia eólica offshore, e o Rio Grande do Norte apresentou uma resposta substancial à solicitação de informações (Rfi), com um layout conceitual detalhado do porto, explicitamente projetado para a energia eólica offshore. No entanto, ambos permanecem em um estágio inicial de desenvolvimento, sem o licenciamento e a confirmação técnica necessários para uma avaliação detalhada comparável. Eles são reconhecidos como candidatos de relevância estratégica de longo prazo e recomendados para inclusão em avaliações futuras, à medida que seu desenvolvimento avançar.

Infraestrutura portuária — prontidão geral e principais conclusões

Os seis portos pré-selecionados, distribuídos por três regiões costeiras, oferecem uma cobertura geográfica amplamente adequada às localizações de parques eólicos offshore (OWF) atualmente propostas pelos desenvolvedores. Ao mesmo tempo, o **nível de preparação varia**. Nenhum dos portos pré-selecionados está atualmente equipado para abrigar um grande terminal dedicado à energia eólica offshore sem investimentos adicionais. As restrições mais comuns são áreas de pátio limitadas ou totalmente utilizadas, sem espaço de armazenamento prontamente disponível; capacidade de suporte insuficiente dos cais para os requisitos de grandes parques eólicos offshore; e a necessidade de áreas dedicadas, controladas por normas de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (HSE), separadas das operações portuárias gerais. Essas restrições não se aplicam de maneira uniforme: o Porto de Rio Grande (Estaleiro EBR) oferece um cais para cargas pesadas já existente e uma área de pátio substancial disponível, que requer preparação em vez de novas instalações; o Porto de Açu possui uma área pré-designada e praticamente livre de obstáculos disponível para desenvolvimento; enquanto o Porto Central possui uma zona pré-designada para energia eólica offshore que ainda não foi desenvolvida. Parâmetros de navegação, como profundidade do canal, raio de giro e comprimento do berço, são geralmente adequados em todos os portos da lista de finalistas.

O cenário Nearshore apresenta um caminho mais acessível no curto prazo, com menores requisitos de infraestrutura e prazos de implementação mais curtos. Vários portos poderiam acomodar atividades costeiras, seja por meio de melhorias direcionadas ou, em alguns casos, pelo uso compartilhado da infraestrutura existente. No entanto, as configurações de uso compartilhado continuam limitadas pelos altos níveis de ocupação na maioria dos portos, o que restringe o espaço disponível, aumenta a complexidade operacional e pode afetar o nível de segregação normalmente exigido para a logística de Large Offshore.

Os seis portos variam significativamente em termos de prontidão e potencial de desenvolvimento, conforme resumido na tabela e detalhado a seguir.

Tabela 0-2 Visão geral dos portos com potencial de preparação e estruturas de governança

Porto	Região	Governança	Principais restrições atuais	Large Offshore	Nearshore
Pecém	Nordeste	TUP (autorização)	Restrições espaciais, capacidade do cais	Viável com uma grande ampliação do porto	Viável com melhorias
SuaPE	Nordeste	Porto público organizado (concessão)	Distância até os locais dos parques eólicos offshore (>400 km), restrições espaciais e capacidade do cais	Viável com ampliação do porto	Viável com melhorias
Porto Central	Sudeste	TUP (autorização)	Profundidade atual do berço	Viável com o desenvolvimento portuário planejado	Viável com o desenvolvimento portuário planejado

Açu	Sudeste	TUP (autorização)	Restrição espacial	Viável com a ampliação do muro do cais	Viável com melhorias
Imbituba	Sul	Porto público organizado (concessão)	Restrições espaciais, capacidade do cais	Não viável	Viável com ampliação do porto
Rio Grande (EBR)	Sul	Porto público organizado (concessão)	Não foram identificadas restrições críticas. No entanto, a capacidade do cais e a profundidade do berço precisam ser confirmadas	Viável com melhorias	Viável com melhorias

Resumo da avaliação porto a porto

Pecém

Pecém está geograficamente bem posicionado na zona eólica offshore do Nordeste e abriga um polo ativo de fabricação de pás eólicas dentro do complexo portuário, o que lhe confere experiência comprovada no manuseio de componentes eólicos. O comprimento do cais, a profundidade do canal e o raio de manobra existentes atendem aos parâmetros de referência para Large Offshore. A restrição crítica é a configuração das pontes de acesso ao porto: toda a carga deve ser transportada de e para o armazenamento em terra por meio de duas pontes de acesso, o que limita o tamanho e o peso dos componentes que podem ser movimentados pelo lado terrestre. Uma avaliação estrutural e logística das pontes é, portanto, uma ação inicial de alta prioridade, pois é um fator essencial para a implantação em larga escala da energia eólica offshore. O Plano Diretor inclui uma zona dedicada ao terminal de energia eólica offshore e uma expansão de longo prazo do quebra-mar em forma de F, refletindo uma intenção institucional genuína de desenvolver a capacidade de energia eólica offshore. Pecém também é bem adequado como um potencial centro de Operação e Manutenção (O&M) para a região Nordeste.

Suape

Suape é um complexo portuário industrial de águas profundas e protegido, com capacidade para receber embarcações de até 366 m x 52 m x 15 m, com uma base industrial consolidada e experiência prévia no manuseio de componentes de torres e pás eólicas associados ao setor eólico terrestre. Sua infraestrutura de navegação e áreas disponíveis para expansão — conforme descrito no Plano Diretor atualizado apresentado durante o processo de Rfl — estão entre as mais sólidas entre os candidatos do Nordeste.

A principal restrição para a construção de grandes projetos offshore é a distância: os locais propostos pelos desenvolvedores para parques eólicos offshore (OWF) mais próximos ficam a mais de 400 km de distância, no limite máximo do que é operacionalmente viável para a logística de embarcações de instalação. Isso não desqualificou o porto nesta análise, dada a qualidade de sua infraestrutura e seu potencial de expansão, mas é necessário um estudo específico de logística e viabilidade antes que qualquer investimento em energia eólica offshore seja comprometido.

Porto Central

O Porto Central apresenta o caminho de desenvolvimento mais claro entre todos os portos do estudo. Trata-se de uma instalação totalmente nova, com licenças ambientais em vigor, Fase 1 em construção, sem conflitos operacionais herdados, sem compromissos de arrendamento concorrentes e uma zona pré-designada de 50 ha para Base de Abastecimento Offshore, explicitamente destinada a atividades de energia e abastecimento offshore. O porto se projeta como um futuro centro-chave para o setor de energia eólica offshore do Brasil e apresentou planos detalhados de layout durante o processo de Solicitação de Informações (Rfl), mostrando opções claras para um terminal dedicado à energia eólica offshore com sobreposição espacial total em

toda a zona de parques eólicos offshore do Sudeste. As ações críticas de curto prazo são ajustes no projeto relativos à profundidade e à capacidade de suporte dos cais, que podem ser resolvidos ainda na fase de projeto detalhado, e a confirmação do programa de dragagem do canal de acesso.

Açu

Açu oferece a melhor adequação técnica de base entre todos os portos pré-selecionados, combinando acesso a águas profundas, capacidades estabelecidas de carga de projetos e logística offshore de petróleo e gás, além de experiência direta no manuseio de componentes relacionados à energia eólica, incluindo cabos submarinos. O porto possui sobreposição espacial total com a zona potencial de parques eólicos offshore do Sudeste e um histórico de atendimento ao setor offshore de petróleo e gás que pode ser transferido para a energia eólica offshore. Seu modelo de governança TUP oferece flexibilidade comercial, permitindo acordos diretos com fabricantes de equipamentos originais (OEMs) como locatários âncora. Várias áreas candidatas a terminais, identificadas durante a Solicitação de Informações (Rfi) e o processo de acompanhamento, foram avaliadas quanto à viabilidade durante a visita ao local. Nesse sentido, Açu não apresenta nenhum grande obstáculo técnico ao desenvolvimento de grandes projetos offshore; suas áreas candidatas a são adequadas, mas atualmente não estão desenvolvidas, de modo que a concretização de um terminal dedicado exigiria a destinação de uma dessas áreas e a construção do cais e da infraestrutura de armazenamento necessários. Açu está bem posicionado tanto para funções de construção quanto de operação e manutenção (O&M).

Imbituba

Imbituba pode desempenhar um papel de construção e operação e manutenção (O&M) em águas costeiras para a parte norte da zona sul do parque eólico offshore, mas um grande terminal para Large Offshore dentro dos limites atuais do porto não é viável devido a restrições espaciais e capacidade insuficiente do cais. O porto é um porto público organizado, operado por concessão, e sua autoridade manifestou disposição para investir em infraestrutura eólica offshore. O conceito de recuperação de terras — desenvolvimento de um novo muro de cais e área de armazenamento em terreno recuperado — é tecnicamente viável e representa o Cenário 1 para o desenvolvimento nearshore. Uma opção de uso compartilhado de menor custo, utilizando a infraestrutura existente, também poderia estar disponível como um caminho para os primeiros a adotar a tecnologia. O Porto de Laguna, operado pela mesma autoridade portuária, oferece uma opção complementar de base de O&M para a região Sul.

Rio Grande

Rio Grande representa a oportunidade mais imediatamente viável para um grande terminal eólico offshore no estudo, exigindo o menor investimento de capital entre todos os conceitos de Large Offshore avaliados. Essa vantagem decorre de um ativo específico: o Estaleiro EBR, subutilizado, oferece um terminal já existente (muralha de cais para cargas pesadas e ampla área de pátio disponível), o que implica apenas preparação em vez de nova construção, com características físicas — escala, frente de cais e tradição industrial — que se alinham diretamente aos requisitos de construção eólica offshore. A base industrial mais ampla do Rio Grande também oferece uma base sólida para o desenvolvimento da cadeia de suprimentos. A capacidade de suporte e a profundidade do cais exigem confirmação formal por meio de levantamentos estruturais e batimétricos, mas não devem constituir barreiras com base nas informações disponíveis atualmente. Com o tempo, a zona do Estaleiro EBR tem potencial para se tornar um centro integrado de fabricação e construção de energia eólica offshore para a região Sul.

Requisitos indicativos de investimento e cronograma

As tabelas abaixo consolidam os custos indicativos de modernização e os cronogramas de implementação para todos os seis portos em ambos os cenários de desenvolvimento. Os custos são estimados no nível AACE Classe 5 / Ordem de Grandeza, com uma margem de precisão esperada de -50% a +100%, refletindo as incertezas significativas na fase conceitual. Eles devem ser entendidos como magnitudes indicativas que permitem uma comparação relativa entre

cenários e portos, e não como valores precisos de investimento. Aquisição de terrenos, custos de financiamento e DEVEX estão excluídos.

Para projetos **Large Offshore**, um resumo dos custos e prazos indicativos para cada um dos portos analisados está apresentado na tabela abaixo.

Tabela 0-3 Resumo dos custos e cronogramas para conceitos de Large Offshore

Região	Porto	Cenário	Custo indicativo (milhões de dólares)	Prazo indicativo
Nordeste	Pecém	Terminal dedicado à energia eólica offshore	356,5	6,5 anos
	Suape	Terminal dedicado à energia eólica offshore	187,5	5,5 anos
Sudeste	Porto Central	Terminal dedicado à energia eólica offshore	142,5	5,5 anos
	Açu	Terminal dedicado à energia eólica offshore	129,0	4,5 anos
Sul	Imbituba	Não viável	—	—
	Rio Grande (Estaleiro EBR)	Terminal dedicado à energia eólica offshore	64,0	3,0 anos

Para projetos **Nearshore**, a tabela abaixo apresenta um resumo dos custos e prazos indicativos para cada um dos portos analisados.

Tabela 0-4 Resumo dos custos e prazos para conceitos de Nearshore

Região	Porto	Cenário	Custo indicativo (milhões de dólares)	Prazo indicativo
Nordeste	Pecém	Cenário 1 — Novo muro de cais dedicado	91,0	4,5 anos
		Cenário 2 — Infraestrutura compartilhada da TMUT	35,5	2,5 anos
	Suape	Cenário 1 — Terminal dedicado, Berço 7	93,5	4,5 anos
		Cenário 2 — Infraestrutura existente compartilhada	37,5	2,5 anos
Sudeste	Porto Central	Terminal nearshore dedicado	94,5	4,5 anos
	Açu	Cenário 1 — Terminal nearshore dedicado	71,5	3,5 anos

Região	Porto	Cenário	Custo indicativo (milhões de dólares)	Prazo indicativo
		Cenário 2 — Infraestrutura compartilhada do T-MULT	37,5	2,5 anos
Sul	Imbituba	Cenário 1 — Nova recuperação e parede do cais	154,0	5,0 anos
		Cenário 2 — Uso compartilhado da infraestrutura existente	35,5	2,5 anos
	Rio Grande (Estaleiro EBR)	Terminal dedicado em águas rasas	27,5	2,5 anos

Os números destacam que Rio Grande representa o ponto de entrada de maior baixo custo para grandes projetos offshore no estudo; Porto Central e Açú oferecem a melhor combinação de custo-benefício para o Sudeste; e abordagens nearshore com infraestrutura compartilhada poderiam ser implementadas na maioria dos portos em aproximadamente 2,5 anos a um custo significativamente menor, proporcionando um caminho viável para os pioneiros enquanto programas de investimento maiores são planejados e financiados.

Estrutura regulatória e institucional

O setor portuário brasileiro opera sob um regime dual estabelecido pela Lei dos Portos (Lei nº 12.815/2013), que distingue entre **Portos Públicos Organizados** e **Terminais de Uso Privado (TUPs)**. Os Portos Públicos Organizados, como Suape, Imbituba e Rio Grande, operam sob um modelo de arrendador, no qual a autoridade portuária administra a infraestrutura comum, enquanto o manuseio de cargas é aberto a operadores privados por meio de contratos de arrendamento competitivos. Os TUPs, como Açú, Pecém e Porto Central, são autorizados diretamente pelo Governo Federal sem licitação pública, sob um regime predominantemente de direito privado que permite aos operadores manusear tanto cargas próprias quanto de terceiros.

Essa distinção tem implicações práticas significativas para o ritmo e a estrutura dos investimentos em portos para energia eólica offshore, uma vez que os TUPs podem se relacionar comercialmente diretamente com desenvolvedores e fabricantes de equipamentos originais (OEMs), enquanto os Portos Públicos Organizados exigem processos administrativos em várias etapas antes que as áreas dos terminais possam ser destinadas a novos usos.

No âmbito federal, a responsabilidade pelo setor está distribuída entre várias instituições com mandatos distintos. O Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR) é responsável pela formulação de políticas portuárias e pelo planejamento estratégico. A Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) supervisiona a regulamentação, a fiscalização e a aplicação da legislação relativa a serviços portuários, arrendamentos, concessões e autorizações. O Ministério de Minas e Energia (MME) é responsável pelo marco regulatório da energia eólica offshore, incluindo a alocação de áreas e a coordenação do licenciamento. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) supervisiona o licenciamento da geração de eletricidade. O IBAMA administra o licenciamento ambiental tanto para a infraestrutura portuária quanto para projetos de energia eólica offshore. A Marinha do Brasil exerce autoridade sobre a segurança marítima, a navegação e o uso das águas brasileiras. Essa estrutura multiagências significa que um desenvolvedor que pretenda avançar com um investimento em um porto para energia eólica offshore deve interagir com vários órgãos reguladores que operam sob regimes jurídicos distintos e com prazos

processuais diferentes, o que pode ser uma fonte significativa de custos de transação e incerteza quanto à sequência de etapas.

Os Planos de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZs), elaborados por cada autoridade portuária, definem os usos permitidos das áreas portuárias e constituem o principal instrumento por meio do qual as necessidades logísticas da energia eólica offshore devem ser integradas ao planejamento portuário. Os PDZs são elaborados pelas respectivas Autoridades Portuárias e submetidos à autoridade portuária nacional competente no âmbito do Ministério de Portos e Aeroportos/Governo Federal para aprovação, de acordo com os regulamentos de planejamento portuário aplicáveis. Eles são atualizados periodicamente, mas atualmente não são obrigados a refletir as necessidades de desenvolvimento da energia eólica offshore.

Nesse contexto, o estudo identificou cinco lacunas estruturais que atualmente limitam o ritmo e a previsibilidade dos investimentos portuários para a energia eólica offshore:

Falta de coordenação entre o planejamento da energia eólica offshore e a regulamentação portuária: atualmente, as PDZs não são obrigadas a refletir as necessidades logísticas da energia eólica offshore, criando o risco de que os projetos avancem sem um planejamento portuário paralelo adequado.

Fragmentação da competência jurídica: os desenvolvedores de energia eólica offshore precisam interagir com múltiplas autoridades federais sob regimes jurídicos distintos e sem um mecanismo de coordenação obrigatório, o que gera incerteza quanto à sequência de etapas e eleva os custos de transação.

Processos de aprovação em várias etapas: o estabelecimento de terminais de energia eólica offshore dentro de Portos Públicos Organizados exige processos de aprovação que podem levar vários anos — o que está mal alinhado com os cronogramas de investimento em energia eólica offshore.

Desalinhamento entre títulos legais e cronogramas dos projetos: arrendamentos portuários, direitos de área e licenças ambientais (para expansões/modernizações em portos que exigiriam licença ambiental específica, dependendo do grau de impactos sociais e ambientais adicionais associados à expansão) operam com durações e ciclos de renovação diferentes, sem coordenação explícita.

Modelos de desenvolvimento portuário

O estudo avaliou ainda quais papéis os portos podem desempenhar na cadeia de valor da energia eólica offshore e quais mecanismos de incentivo e concorrência estão disponíveis no marco regulatório brasileiro para estimular o investimento portuário. A análise se baseia em estudos de caso internacionais de mercados consolidados de energia eólica offshore e nas características específicas de propriedade, governança e prontidão dos seis portos pré-selecionados.

Foram identificados três papéis distintos para os portos, que não são mutuamente exclusivos e podem evoluir ao longo do tempo, à medida que o mercado se desenvolve:

A construção e o agrupamento de componentes são o papel principal avaliado para todos os seis portos pré-selecionados, sujeito às melhorias identificadas no Capítulo 4. Isso envolve o recebimento, o armazenamento, a pré-montagem e o embarque de componentes eólicos offshore durante a fase de instalação. Trata-se de um papel orientado pela logística, que requer grandes áreas de armazenamento, cais para cargas pesadas e acesso de embarcações em águas profundas. Para portos em que a capacidade existente ou restrições de arrendamento limitam a disponibilidade a curto prazo para construção em grande escala, uma estratégia de entrada em águas rasas, com menores requisitos de infraestrutura, oferece um caminho inicial prático para adquirir experiência operacional e estabelecer relações com desenvolvedores enquanto investimentos maiores são planejados.

O centro de fabricação e instalação é uma ambição de longo prazo aplicável a um conjunto mais restrito de portos. Essa função envolve sediar atividades de fabricação ou montagem de grande porte, montagem de naceles, produção de pás ou torres e fabricação de monopilares, nas imediações das instalações portuárias. Pecém, Suape, Porto Central e Rio Grande são

identificados como os candidatos mais plausíveis ao longo do tempo, dada sua tradição industrial e a disponibilidade de terrenos. A concretização dessa função requer o compromisso de locatários âncora por parte de fabricantes de turbinas (OEMs) ou de componentes, além de um fluxo de projetos confirmado em escala suficiente; não se trata de um caminho de curto prazo para nenhum dos portos pré-selecionados.

As operações e a manutenção são determinadas principalmente pela proximidade geográfica aos locais dos parques eólicos e apresentam os menores requisitos de infraestrutura entre as três funções. Vários portos costeiros menores, além dos seis pré-selecionados, podem se tornar bases relevantes de O&M assim que os primeiros parques eólicos entrarem em operação. O modelo típico é a superestrutura financiada pelo desenvolvedor em terrenos portuários arrendados, com um compromisso de capital limitado exigido do próprio porto.

Quanto aos incentivos ao investimento, o estudo identifica dois modelos como os mais aplicáveis ao contexto brasileiro:

Designação competitiva de portos: um processo liderado pelo governo por meio do qual um ou mais portos prioritários para energia eólica offshore são selecionados com base em critérios definidos, conferindo benefícios regulatórios, como tramitação prioritária do PDZ e visibilidade junto a desenvolvedores e fabricantes de equipamentos originais (OEMs). Isso é mais relevante para os três Portos Públicos Organizados (Suape, Rio Grande, Imbituba), que respondem diretamente aos sinais de planejamento do governo. Referências internacionais incluem elementos observados no Porto de Taichung e nos clusters de energia eólica offshore do Reino Unido, embora esses se baseiem em estruturas mais amplas de política industrial e não sejam diretamente transferíveis.

Estratégias de locatário âncora: um operador portuário negocia um compromisso comercial de longo prazo com um fabricante original (OEM) ou desenvolvedor como base para investimentos em infraestrutura dedicada. Esse modelo é mais diretamente aplicável nos portos do TUP (Açu, Porto Central e Pecém), que podem negociar e executar tais acordos sem a necessidade de licitação pública. Açu já atraiu vários memorandos de entendimento não vinculativos de desenvolvedores e fabricantes de energia eólica offshore, em consonância com esse modelo. Entre os casos de referência estão o Porto de Hull e o Porto de Cuxhaven, onde os compromissos de fabricação da Siemens Gamesa impulsionaram as decisões de investimento portuário.

Ambos os modelos dependem, em última instância, da mesma condição subjacente: um pipeline visível e confiável de projetos de energia eólica offshore. No curto prazo, a trajetória mais realista para a maioria dos portos pré-selecionados é, portanto, incremental (conforme refletido no Cenário Nearshore 2 desenvolvido para cada porto no Capítulo 4), começando com o uso compartilhado ou temporário da infraestrutura existente para atividades costeiras, acumulando experiência operacional e construindo relações comerciais, e adiando investimentos dedicados de maior porte até que surja maior certeza de mercado. Os Contratos de Uso Temporário constituem um instrumento regulatório específico para viabilizar isso nos Portos Públicos Organizados.

Principais recomendações

O estudo conclui com recomendações estruturadas em torno de dois horizontes temporais. As ações de curto prazo (2026–2028) são medidas facilitadoras que podem ser avançadas apesar da incerteza remanescente em relação à carteira de projetos. As ações de médio prazo (2029–2032) tornam-se críticas à medida que a carteira de projetos de energia eólica offshore se consolida e as decisões de investimento se aproximam.

Tabela 0-5 Visão geral das recomendações

Horizonte temporal	Tema	Ação
Curto prazo (2026–2028)	Regulamentação secundária	Priorizar a emissão de regulamentação secundária nos termos da Lei de Energia Eólica Offshore para possibilitar a alocação de áreas e sinais de investimento.

Horizonte temporal	Tema	Ação
	Planejamento espacial	Avançar no planejamento espacial da energia eólica offshore e na identificação de zonas prioritárias de desenvolvimento (estudos de EPE).
	Zoneamento portuário	Integrar as necessidades logísticas da energia eólica offshore nos Planos de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZs).
	Coordenação institucional	Promover a coordenação interinstitucional com base na plataforma PUG-Offshore, envolvendo o MME, a ANEEL, o IBAMA, a Marinha, a ANTAQ e o MPOR.
	Adaptação portuária antecipada	Promover adaptações portuárias antecipadas nos portos do TUP em regiões com atividade existente de petróleo e gás.
	Alinhamento jurídico	Resolver o descompasso entre os prazos dos instrumentos legais e os cronogramas dos projetos de energia eólica offshore.
	Licenciamento ambiental	Fortalecer a capacidade de licenciamento ambiental e desenvolver diretrizes específicas para o setor de infraestrutura portuária de energia eólica offshore.
Médio prazo (2029–2032)	Redução de riscos financeiros	Iniciar mecanismos de redução de riscos por meio do BNDES e de estruturas de financiamento misto.
	Estruturas de incentivos	Promover o zoneamento baseado em incentivos no âmbito dos instrumentos de planejamento portuário e industrial (REIDI, ZPE).
	Força de trabalho	Impulsionar programas de transição da força de trabalho e de desenvolvimento de capacidades.

Avaliação geral

O Brasil combina condições naturais favoráveis, uma base industrial consolidada e um marco regulatório emergente que, juntos, proporcionam uma base sólida para o desenvolvimento de uma rede portuária para energia eólica offshore. Os seis portos pré-selecionados, distribuídos por três regiões costeiras, oferecem uma cobertura geográfica amplamente adequada aos locais de parques eólicos atualmente propostos pelo mercado.

Ao mesmo tempo, o nível de preparação varia significativamente dependendo da escala e do tipo de implantação. Para projetos nearshore, vários portos poderiam ser adaptados por meio de melhorias direcionadas e graduais, possibilitando atividades iniciais, como pré-montagem, preparação e operação e manutenção (O&M), dentro de um prazo de 2,5 a 5 anos. Para projetos Large Offshore, nenhum dos portos pré-selecionados está totalmente equipado no momento, e os prazos de melhoria de 5 a 7 anos significam que as decisões de investimento devem ser tomadas no curto prazo para se alinharem à janela de implantação de 2032 a 2035.

O ritmo em que essas oportunidades podem ser concretizadas depende fundamentalmente da velocidade da regulamentação secundária prevista na Lei de Energia Eólica Offshore, da clareza do planejamento espacial da energia eólica offshore e do alinhamento dos instrumentos de zoneamento portuário com os requisitos logísticos da energia eólica offshore. Essas ações facilitadoras são de responsabilidade principalmente do governo e constituem os itens de maior prioridade nas recomendações de curto prazo.

Agradecimentos

Este relatório foi elaborado pela COWI em nome da Agência Dinamarquesa de Energia (DEA), no âmbito da parceria bilateral em energia entre a Dinamarca e o Brasil. Sua conclusão não teria sido possível sem o envolvimento e a expertise de um amplo leque de partes interessadas de ambos os países.

Os autores expressam sua sincera gratidão ao Ministério de Portos e Aeroportos (MPOR) e ao Ministério de Minas e Energia (MME) pela orientação estratégica contínua, pelo apoio institucional e pela participação ativa ao longo do estudo, incluindo o acompanhamento durante as visitas aos locais portuários.

A Embaixada da Dinamarca em Brasília desempenhou um papel fundamental em todas as etapas do trabalho de campo, facilitando o acesso, a coordenação e o envolvimento das partes interessadas durante as visitas aos locais realizadas em março de 2026.

Os autores agradecem a todas as autoridades portuárias que responderam ao processo de Solicitação de Informações (Rfi). Suas contribuições forneceram dados de referência essenciais que serviram de base para a triagem e a avaliação comparativa nas três regiões costeiras do Brasil. Um reconhecimento especial vai às autoridades e representantes dos seis portos selecionados para avaliação detalhada — Porto de Pecém, Porto de Suape, Porto Central, Porto de Açu, Porto de Imbituba e Porto de Rio Grande —, que se envolveram amplamente por meio de visitas aos locais, trocas de informações de acompanhamento e validação de dados. Sua abertura no compartilhamento de informações técnicas e planos de desenvolvimento foi fundamental para a profundidade e a qualidade deste relatório.

Os autores agradecem ainda ao Escritório de Pesquisas Energéticas (EPE), juntamente com os ministérios e autoridades portuárias que revisaram a versão preliminar do relatório e forneceram comentários detalhados durante a rodada de comentários. Suas contribuições reforçaram a precisão e a integridade da avaliação final.

Por fim, os autores agradecem a todas as pessoas que participaram das entrevistas ou contribuíram de outras formas para este estudo. Suas contribuições coletivas refletem o crescente impulso por trás do setor de energia eólica offshore do Brasil e o compromisso comum de viabilizar seu desenvolvimento.

Abreviaturas

Abreviação	Descrição
AACE	Associação para o Avanço da Engenharia de Custos
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
BEP	Programa Energia para o Brasil
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPEX	Despesas de capital
CIPP	Complexo Industrial e Portuário do Pecém
CP 191	Consulta Pública nº 191 (atribuição de áreas para energia eólica offshore pelo MME)
CTV	Crew Transfer Vessel
DEA	Danish Energy Agency (Agência Dinamarquesa de Energia)
EBR	Estaleiro e Base de Reparo
ZEE	Zona Econômica Exclusiva
EMAP	Empresa Maranhense de Administração Portuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVTEA	Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental
GBS	Estrutura Baseada na Gravidade
GIS	Sistema de Informação Geográfica
GW	Gigawatt
HLV	Navio de Carga Pesada
HSE	Saúde, Segurança e Meio Ambiente
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LAT	Maré astronômica mais baixa
LOLO	Lift-On Lift-Off
MME	Ministério de Minas e Energia
MoU	Memorando de Entendimento
MP	Monopile
MPOR	Ministério dos Portos e Aeroportos
MW	Megawatt
O&M	Operações e Manutenção
OEM	Fabricante de Equipamento Original
OWF	Parque Eólico Offshore
OWZ	Zona Eólica Offshore
PDZ	Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário

Abreviação	Descrição
PPP	Parceria Público-Privada
PUG-Offshore	Plataforma Unificada de Gestão Offshore
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
Rfi	Request for Information (Solicitação de Informações)
RORO	Roll-On Roll-Off
SCPAR	Santa Catarina Participações e Parcerias S.A.
SOV	(Service Operation Vessels) Embarcação de Operação de Serviço
SPMT	Transportador Modular Autopropulsado
SPU	Secretaria do Patrimônio da União
SUAPE	Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros
SUPRG	Superintendência do Porto do Rio Grande
T&I	Transporte e Instalação
TCU	Tribunal de Contas da União
TMUT	Terminal Multiuso
TP	Peça de transição
TUP	Terminal de Uso Privado
WTG	Wind Turbine Generator (Gerador eólico)
WTIV	Wind Turbine Installation Vessel) Embarcação para instalação de turbinas eólicas
ZPE	Zona de Processamento de Exportação

1 Introdução

1.1 Contexto

A Dinamarca colabora com o Ministério de Minas e Energia (MME) do Brasil por meio de uma parceria bilateral no setor de energia para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore no país. Após a aprovação da Lei de Energia Eólica Offshore do Brasil em 2025, espera-se que a energia eólica offshore desempenhe um papel cada vez mais importante na transição energética do país. Conforme demonstrado pela experiência internacional, a disponibilidade, a capacidade e o desenvolvimento oportuno da infraestrutura portuária são fatores críticos para o custo, o cronograma e a viabilidade geral dos projetos de energia eólica offshore, especialmente em suas fases iniciais.

Nesse contexto, a Agência Dinamarquesa de Energia (DEA) contratou a COWI para realizar um estudo que avalie a adequação dos portos brasileiros para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore. O estudo tem como objetivo identificar portos com potencial para atender às atividades de fabricação, agrupamento/pré-montagem, instalação e operações e manutenção (O&M) de energia eólica offshore, bem como avaliar, em um nível geral, as melhorias de infraestrutura e os marcos regulatórios necessários para viabilizar tais funções.

Os portos são uma infraestrutura essencial para o setor eólico offshore, servindo como centros para a fabricação, montagem, preparação e operação e manutenção (O&M) de parques eólicos offshore. As instalações, a estrutura, a proximidade e a conectividade dos portos influenciam fortemente a viabilidade, o custo e os prazos dos projetos de energia eólica offshore. Em particular, os portos precisam ser projetados para acomodar tecnologias atuais e futuras, incluindo turbinas maiores, fundações mais pesadas e embarcações com requisitos de calado mais elevados. Os portos de preparação também devem equilibrar a necessidade de atividade comercial contínua com a disponibilidade de espaço para operações de energia eólica offshore, o que exige investimentos estratégicos e melhorias.

O desenvolvimento da infraestrutura portuária para a energia eólica offshore não apenas apoia a implementação dos projetos, mas também gera benefícios econômicos e de emprego significativos para a região. No entanto, a criação ou modernização de portos para atender aos requisitos da energia eólica offshore é um processo complexo e que exige grande investimento de capital, podendo se estender por vários anos, tornando essencial o planejamento antecipado.

O objetivo deste estudo é apoiar o Ministério de Minas e Energia (MME), o Ministério dos Portos (MPOR), as autoridades portuárias e os atores privados no planejamento e na preparação da infraestrutura portuária para viabilizar a implantação de projetos de energia eólica offshore no Brasil.

1.2 Escopo do estudo

O estudo abrange o mapeamento, a triagem e a avaliação técnica detalhada das instalações portuárias brasileiras em três regiões costeiras — Nordeste, Sudeste e Sul — no que diz respeito à sua adequação para as funções de fabricação, agrupamento e operação e manutenção (O&M) de energia eólica offshore. Ele também inclui uma avaliação indicativa dos custos de modernização e dos prazos de implementação, uma revisão dos marcos regulatórios, institucionais e de propriedade que regem o desenvolvimento portuário no Brasil, juntamente com uma análise de modelos de desenvolvimento portuário e recomendações de políticas. As conclusões são de natureza indicativa e têm como objetivo contribuir para o planejamento e o diálogo sobre políticas. As trajetórias reais de desenvolvimento portuário serão determinadas

pelos marcos de políticas públicas aplicáveis e pelos acordos comerciais entre desenvolvedores e operadores portuários.

O estudo foi estruturado em torno de cinco tarefas interligadas, conforme descrito a seguir.

Tarefa 1: Mapeamento da infraestrutura portuária existente

- Foi criada uma base de dados inicial dos portos ao longo do litoral brasileiro a partir de fontes de dados online, estudos anteriores e análise documental, categorizada por região (Nordeste, Sudeste e Sul).
- Foi realizada uma triagem preliminar com base em fatores como área de cais disponível, profundidade da água (calado), manobrabilidade das embarcações e acessibilidade geral, a fim de eliminar locais claramente inadequados para operações de energia eólica offshore

Tarefa 2: Seleção de portos

- Foram estabelecidos critérios de referência para portos de construção (organização) e de O&M, com base nas melhores práticas internacionais e em estudos anteriores encomendados pela DEA no Vietnã (DEA, COWI, 2024) , na Colômbia (DEA, COWI, 2024) e na Índia (DEA, COWI, 2022)
- Critérios adicionais foram considerados para configurações de parques eólicos próximos à costa, refletindo os tamanhos menores das turbinas e a menor complexidade logística desse cenário.
- Um questionário detalhado foi distribuído aos portos pré-selecionados para coletar dados primários sobre infraestrutura, capacidades operacionais e planos de expansão.
- Os portos foram então priorizados para avaliação detalhada, resultando em uma lista de seis portos pré-selecionados, dois por região.

Tarefa 3: Avaliação detalhada dos portos

- Uma avaliação detalhada dos portos pré-selecionados foi realizada por meio de uma combinação de análise documental e visitas in loco realizadas em março de 2026. As visitas in loco permitiram a verificação direta das dimensões dos portos, da capacidade de carga, do acesso náutico e do potencial de expansão.
- Foi realizada uma análise de lacunas comparando a infraestrutura portuária existente com os critérios de referência predefinidos, identificando áreas que necessitam de melhorias ou ampliações.
- Foram desenvolvidas soluções conceituais para a modernização dos terminais existentes ou a construção de novos terminais, juntamente com faixas indicativas de investimento e cronogramas de implementação.
- Foram considerados cenários tanto para Large Offshore quanto para Nearshore, refletindo as duas vertentes de desenvolvimento definidas na Seção 1.4 .

Tarefa 4: Avaliação dos marcos regulatórios, de propriedade e de incentivos

- Paralelamente às Tarefas 1 a 3, o quadro regulatório portuário brasileiro, os procedimentos de planejamento e os modelos de propriedade foram analisados para identificar lacunas e barreiras ao desenvolvimento da infraestrutura eólica offshore.
- Modelos potenciais de desenvolvimento portuário e mecanismos de concorrência foram avaliados, com base em exemplos internacionais, para criar incentivos ao investimento em portos para energia eólica offshore.
- Assim, foram elaboradas recomendações de políticas para apoiar o governo na modernização da regulamentação portuária nacional e na facilitação de investimentos portuários para a energia eólica offshore.

Tarefa 5: Análise Conclusiva e Recomendações

- O estudo conclui com uma síntese das conclusões, identificando as ações necessárias para garantir atualizações portuárias oportunas e melhorias regulatórias em apoio à implantação de projetos de energia eólica offshore até 2032–2035.
- São identificados os obstáculos e propostas estratégias para superá-los, com base em consultas, entrevistas e dados coletados ao longo do estudo.
- São apresentadas recomendações para os próximos passos e estudos futuros.

Exclusões do escopo

Embora o estudo ofereça uma avaliação abrangente da infraestrutura portuária para a energia eólica offshore no Brasil, certas áreas foram deliberadamente **excluídas** de seu escopo. Essas exclusões incluem:

- Avaliações ambientais e sociais: não há avaliação detalhada dos impactos ambientais ou das implicações sociais das modernizações portuárias ou de novos empreendimentos portuários.
- Seleção de locais para projetos de energia eólica offshore: análise detalhada de locais ideais para parques eólicos offshore, estudos de conexão à rede elétrica e consideração da logística específica de projetos offshore além daquelas relacionadas aos portos.
- Cadeia de suprimentos da energia eólica offshore brasileira: análise detalhada da cadeia de suprimentos nacional, incluindo disponibilidade de embarcações, estaleiros de fabricação e capacidades de produção de componentes, além das atividades portuárias. Também não inclui uma avaliação da prontidão dos fornecedores locais para apoiar projetos de energia eólica offshore.
- Projeto de engenharia detalhado e cálculo de custos: o estudo não inclui projeto em nível de engenharia nem desenhos técnicos detalhados de modernizações portuárias ou novos terminais; tampouco cálculos precisos de custos, ou seja, foram desenvolvidas apenas faixas de investimento de alto nível e cronogramas indicativos.
- Energia eólica offshore flutuante: a energia eólica offshore flutuante oferece o potencial de explorar vastas áreas de águas mais profundas onde fundações de fundo fixo não são viáveis e tem relevância de longo prazo para as águas brasileiras com profundidade superior a aproximadamente 70-100 m. No entanto, a tecnologia permanece em um estágio comercial inicial globalmente: os conceitos de fundações flutuantes variam significativamente de acordo com as condições do mar, a tecnologia de cabos dinâmicos ainda está sendo comprovada e as condições de mar agitado características do Atlântico Sul apresentam desafios adicionais específicos do local. Além disso, os requisitos logísticos portuários da energia eólica offshore flutuante são geralmente maiores do que os das configurações de fundo fixo: avaliações internacionais indicam que a energia eólica flutuante normalmente exige áreas de armazenamento e pré-montagem substancialmente maiores, cais mais longos e com maior capacidade de carga, e maior profundidade de água, juntamente com a integração, dentro do porto, da turbina à fundação flutuante e áreas dedicadas de armazenamento na água, onde as unidades concluídas ficam atracadas flutuando antes do reboque — uma função sem equivalente na logística de fundações fixas. Consequentemente, os portos desenvolvidos para a energia eólica offshore de fundo fixo exigiriam melhorias adicionais — e não apenas equivalentes — para atender a um futuro mercado flutuante, estendendo os prazos de desenvolvimento muito além daqueles avaliados aqui e reforçando o motivo pelo qual a energia eólica flutuante fica fora do foco de curto prazo deste estudo. Dada a imaturidade da tecnologia e os requisitos logísticos distintos que a energia eólica flutuante imporia, ela é excluída do escopo deste estudo.
- O foco, portanto, está nas configurações de fundo fixo — próximas à costa e em alto mar —, onde a tecnologia e a logística portuária estão suficientemente estabelecidas para sustentar uma avaliação significativa da infraestrutura.

1.3 Visão geral de estudos anteriores relevantes

Nos últimos anos, várias instituições nacionais e internacionais publicaram estudos que examinam o potencial eólico offshore do Brasil, o contexto regulatório, a preparação da cadeia de valor e os

caminhos de desenvolvimento do mercado. Como parte inicial deste estudo, a COWI realizou uma revisão bibliográfica abrangente dessas publicações para estabelecer a base de conhecimento atual. Embora esses documentos ofereçam insights valiosos sobre o desenvolvimento do setor, eles geralmente não incluem as avaliações técnicas detalhadas das instalações portuárias necessárias para compreender suas capacidades de atender à construção de parques eólicos offshore e às atividades relacionadas. O presente estudo, portanto, baseia-se na literatura existente, ao mesmo tempo em que oferece uma análise mais aprofundada e focada na infraestrutura.

Um dos estudos nacionais mais abrangentes é o relatório de 2022 do Governo do Reino Unido intitulado *“Cadeias de Valor e de Inovação da Eólica Offshore no Brasil”* (Governo do Reino Unido, 2022), elaborado no âmbito do Programa Energia para o Brasil (BEP). O relatório fornece diretrizes e recomendações para o desenvolvimento das cadeias de valor e de inovação da energia eólica offshore no Brasil, integrando considerações sobre igualdade de gênero e inclusão social. Utilizando uma estrutura analítica baseada no ciclo de vida, que abrange projeto, aquisição, instalação, operação e manutenção (O&M) e desativação, o relatório avalia as capacidades industriais e as necessidades de inovação em todo o setor. Ele destaca oportunidades como a diversificada indústria nacional brasileira, a experiência dos setores de energia eólica onshore e de petróleo e gás offshore, mecanismos sólidos de P&D&I e o potencial para integração do hidrogênio verde. Identifica também vários desafios, incluindo a ausência de embarcações especializadas, a experiência limitada em instalações offshore no país e lacunas na política de inovação. Como o escopo do estudo se concentra nas cadeias de valor e inovação e em aspectos socioeconômicos mais amplos do desenvolvimento do setor, ele não aborda a infraestrutura portuária nem os requisitos técnicos específicos dos portos.

Outro conjunto de publicações relevantes inclui o estudo da Ramboll *“Paving the Way for Ceará’s Offshore Wind Industry”* (Ramboll, 2022) e o relatório da SYSTEMIQ *“Capturing the Offshore Wind Opportunity”* (SYSTEMIQ, 2025). Esses são os dois estudos identificados na literatura que discutem aspectos portuários no contexto da energia eólica offshore, cada um com foco em uma região específica. O estudo do Ceará examina os requisitos para o desenvolvimento inicial, os pólos industriais emergentes e as condições propícias para a energia eólica offshore no Nordeste e, portanto, refere-se principalmente aos portos localizados nessa região. O relatório da SYSTEMIQ, por sua vez, oferece uma ampla visão geral das oportunidades da energia eólica offshore no sul do Brasil, incluindo um conjunto de planos de ação destinados a viabilizar o desenvolvimento do setor na região Sul. Embora ambos os estudos ofereçam perspectivas regionais úteis e destaquem considerações relacionadas aos portos dentro de seus respectivos âmbitos geográficos, eles não fornecem uma visão nacional que é necessária neste momento para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore na principal economia da América do Sul.

O *“Roteiro Eólico Offshore Brasil”* de 2020 (Ministério de Minas e Energia, 2020) representa uma consolidação inicial das discussões nacionais sobre energia eólica offshore. Em vez de propor incentivos políticos, o roteiro visa fornecer um ponto de partida estruturado para o debate e futuros estudos detalhados no contexto do planejamento energético do Brasil. O documento baseia-se em extensa pesquisa bibliográfica e no envolvimento contínuo com instituições brasileiras, como o MME, a ANEEL, o IBAMA, a Marinha do Brasil e a SPU, bem como com empresas e pesquisadores com experiência em energia eólica offshore. Este roteiro oferece uma visão estratégica dos desafios, oportunidades e possíveis caminhos de desenvolvimento para o Brasil como um todo. No entanto, ele apresenta apenas referências gerais aos requisitos portuários e não inclui avaliações detalhadas da situação atual da infraestrutura portuária no Brasil.

Embora os estudos mencionados acima tenham oferecido um contexto valioso e apoiado a compreensão inicial do cenário da energia eólica offshore no Brasil, a presente avaliação baseia-se principalmente em dois documentos que constituem a base para avaliar a prontidão portuária: o relatório de 2024 do Grupo Banco Mundial sobre o potencial de desenvolvimento da energia eólica offshore (Banco Mundial, 2024) e o relatório do IBAMA *“Complexos Eólicos Offshore: Projetos com Processo de Licenciamento Ambiental em Andamento no IBAMA”*, tanto na versão de março de 2025 (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), 2025) quanto na versão mais recente de fevereiro de 2026 (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos

Recursos Naturais Renováveis, 2026) . Esses documentos fornecem dados essenciais sobre a distribuição espacial dos recursos eólicos, cenários de desenvolvimento e status oficial dos projetos, incluindo localizações propostas para projetos orientadas pelo mercado.

O relatório de 2024 do Grupo Banco Mundial apresenta cenários abrangentes para o desenvolvimento da energia eólica offshore ao longo do extenso litoral brasileiro, cobrindo as chamadas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Ele identifica áreas potenciais para tecnologias eólicas offshore de fundo fixo e flutuantes com base nos recursos eólicos, profundidades da água e condições do leito marinho. O relatório também inclui uma discussão específica sobre a preparação de três portos e uma visão geral de oito portos adicionais, oferecendo insights úteis sobre o panorama portuário a partir de 2024. Mais importante ainda, ele fornece um quadro espacial que indica onde os parques eólicos offshore (OWF) poderão ser localizados no futuro, o que é particularmente relevante para considerações de planejamento relacionadas às capacidades portuárias.

O relatório do IBAMA complementa isso ao apresentar as informações mais recentes e oficiais sobre projetos de energia eólica offshore em processo de licenciamento ambiental no Brasil. Ao contrário dos estudos baseados em cenários, ele lista os locais dos projetos, refletindo os processos regulatórios em andamento. Por ser uma publicação da principal autoridade ambiental do Brasil, oferece uma indicação confiável das atividades emergentes no setor de energia eólica offshore. Essas informações ajudam a alinhar as considerações portuárias com as trajetórias reais dos projetos e as prioridades de desenvolvimento de curto prazo identificadas pelo mercado.

1.4 Zonas e regiões prioritárias para a energia eólica offshore no Brasil

O potencial da energia eólica offshore no Brasil é significativo e se baseia no extenso litoral e nas condições eólicas geralmente favoráveis ao longo da costa. Com base no banco de dados de licenciamentos do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), 2025) e na análise espacial do Banco Mundial (Banco Mundial, 2024) , o litoral foi dividido em três regiões principais para os fins deste estudo: Nordeste, Sudeste e Sul. Todas essas regiões oferecem grandes oportunidades para a energia eólica offshore de fundo fixo, tanto para instalações próximas à costa (turbinas eólicas menores) quanto para grandes turbinas eólicas offshore mais distantes da costa.

É importante observar que as condições do leito marinho ao longo da costa brasileira variam consideravelmente. Em algumas regiões, o leito marinho apresenta declives acentuados, limitando a extensão lateral das zonas de águas rasas adequadas para o desenvolvimento eólico offshore, enquanto em outras regiões a batimetria rasa se estende mais para o mar.

A figura 1-1 apresenta uma visão geral dos parques eólicos offshore propostos com base no banco de dados de licenciamento do IBAMA de março de 2025¹ . A figura destaca a distribuição dos parques eólicos propostos em relação às condições de vento predominantes.

- As regiões do Nordeste apresentam a maior concentração de projetos eólicos offshore propostos. Essa região é caracterizada por fortes recursos eólicos na parte mais a leste (velocidades médias do vento de 9 a 10 m/s).
- A região Sudeste é caracterizada por velocidades médias do vento mais baixas em relação às regiões Sul e ao extremo leste do Nordeste. No entanto, a região desempenha um papel estrategicamente importante, pois inclui os primeiros projetos-piloto planejados.

¹ Observa-se que este relatório foi elaborado com base na edição de 2025 do banco de dados do IBAMA, que era o conjunto de dados mais recente disponível no momento em que a análise foi realizada. A edição subsequente de 2026 foi divulgada durante a elaboração do relatório, após a conclusão das principais avaliações baseadas na localização; portanto, o conjunto de dados de 2025 foi mantido para referências de localização dos projetos, enquanto o conjunto de dados atualizado de 2026 foi considerado para os números de capacidade geral, quando relevante.

- A região Sul apresenta as maiores velocidades médias do vento entre as três regiões, combinadas com condições batimétricas altamente favoráveis em extensas áreas offshore.

Também deve-se considerar como a energia eólica offshore pode ser implementada nos mercados brasileiros. Isso não é parte do escopo principal do projeto, mas ajuda a definir o desafio e a importância de escolher uma estratégia relevante para a implementação da energia eólica offshore. Isso também é considerado no âmbito do desenvolvimento sustentável de longo prazo não apenas da energia eólica offshore, mas também da indústria de apoio no Brasil.

Uma abordagem típica consiste em, primeiro, colocar em operação um projeto-piloto, que determinaria a capacidade e o interesse pela energia eólica offshore, ajudaria a testar a legislação e também comprovaria (ou revelaria) os desafios técnicos. Idealmente, esse projeto estaria localizado em um local capaz de oferecer as melhores condições para a exploração da energia eólica offshore — bons recursos eólicos médios, batimetria e condições geotécnicas do solo razoáveis, acesso adequado à rede elétrica (ou ponto de conexão) e proximidade a um porto adequado para construção. A região sul provavelmente seria a mais indicada, com base nas velocidades do vento, profundidades da água e proximidade a grandes áreas urbanas.

Após o comissionamento (bem-sucedido) do projeto-piloto, os projetos seriam inicialmente programados de forma sequencial para garantir que o setor tenha tempo para se estabelecer e reagir aos desafios específicos de localização e legislação. A prioridade na escolha dos primeiros parques eólicos em escala real (sejam eles próximos à costa ou “grandes parques offshore”) continuará sendo a otimização do LCOE com base na disponibilidade eólica, nas condições do leito marinho (batimetria e condições do solo), nas conexões à rede elétrica e na adequação do porto de construção.

Essencialmente, o nível de investimento total nos primeiros parques eólicos offshore supera em muito os custos potenciais de desenvolvimento de um porto de construção adequado, o que faz com que a seleção de um porto adequado se torne menos crítica para as decisões de desenvolvimento dos parques eólicos.

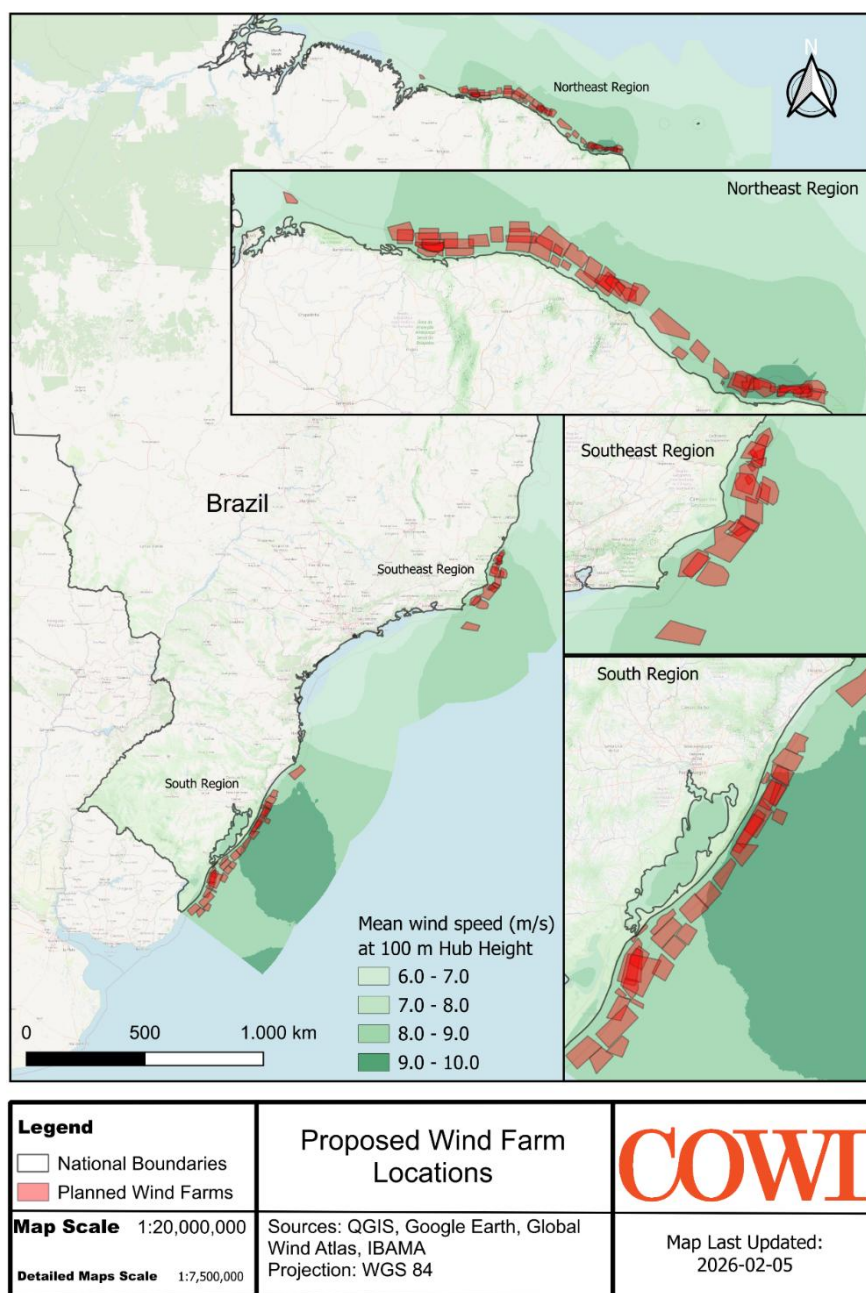


Figura 1-1 Distribuição dos parques eólicos offshore propostos ao longo da costa brasileira, com a velocidade média do vento sobreposta com base no banco de dados do IBAMA para 2025.

1.5 Visão geral da metodologia

O estudo seguiu uma abordagem analítica estruturada e em várias etapas, integrando triagem quantitativa, análise documental, coleta de dados primários e envolvimento das partes interessadas. A metodologia foi adaptada de estudos anteriores da COWI e da DEA sobre a preparação portuária para a energia eólica offshore no Vietnã, na Turquia e na Índia, e calibrada para refletir o contexto específico do Brasil, incluindo a extensão de seu litoral, a maturidade de seu mercado de energia eólica offshore e a estrutura de seu sistema de governança portuária. Os resultados deste estudo têm como objetivo servir de contribuição para discussões sobre planejamento e políticas; os resultados reais do desenvolvimento serão moldados pelos marcos regulatórios aplicáveis e pelos acordos comerciais entre desenvolvedores e operadores portuários.

As etapas analíticas e a metodologia utilizadas em cada uma delas estão resumidas abaixo.

Tabela 1-1 Resumo das etapas analíticas e da metodologia utilizada

Etapas analíticas	Descrição da metodologia
1. Desenvolvimento de critérios de referência	Os requisitos logísticos para energia eólica offshore foram definidos para dois cenários, ou seja, Large Offshore (turbinas de 15–20 MW) e nearshore (turbinas de 6–8 MW), com base em padrões internacionais do setor, estudos anteriores de DEA e no conhecimento de mercado da COWI.
2. Mapeamento dos portos nacionais	Foi compilado um banco de dados inicial com 43 portos brasileiros a partir de fontes oficiais (ANTAQ, SEP), estudos anteriores e análises documentais da COWI.
3. Triagem preliminar e intermediária	Os portos foram selecionados em duas etapas com base nos critérios de referência, reduzindo progressivamente a lista inicial. O mapeamento por meio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) foi amplamente utilizado para avaliar a proximidade às zonas propostas para energia eólica offshore.
4. Avaliação detalhada dos portos	Seis portos pré-selecionados foram avaliados por meio de estudos documentais e visitas in loco, gerando dados técnicos sobre dimensões dos cais, capacidade de carga, calado, área de armazenamento e potencial de expansão.
5. Análise de lacunas e investimentos	A infraestrutura atual foi comparada aos critérios de referência. Foram desenvolvidos conceitos indicativos de modernização e faixas de investimento para cada porto selecionado.
6. Avaliação regulatória e institucional	O marco regulatório portuário do Brasil, as estruturas de propriedade e os procedimentos de planejamento foram analisados. Modelos internacionais foram avaliados quanto à sua aplicabilidade no Brasil.
7. Síntese e recomendações	Os resultados foram integrados para produzir um conjunto estruturado de conclusões, recomendações específicas para cada porto e orientações de políticas alinhadas ao cronograma previsto para a implantação da energia eólica offshore no Brasil (2032–2035).

Esta seção apresenta uma visão geral técnica dos componentes, configurações e requisitos logísticos de parques eólicos offshore, com o objetivo de estabelecer um quadro de referência comum para a avaliação portuária. Ela se baseia no conhecimento consolidado do setor e nos pressupostos do projeto definidos na seção 1.7.

1.6 Visão geral da energia eólica offshore

A energia eólica offshore é uma forma de eletricidade gerada por turbinas eólicas instaladas no mar. Elas podem ser baseadas em fundações fixas ou em instalações flutuantes. As turbinas são normalmente agrupadas em matrizes que formam um parque eólico offshore.

Projetos em escala comercial geralmente começam em 200 MW, embora a tendência do setor seja de projetos cada vez maiores. Para ilustrar o ritmo de crescimento: Vindeby, o primeiro parque eólico offshore do mundo, inaugurado na Dinamarca em 1991, consistia em 11 turbinas com uma

capacidade instalada total de apenas 5 MW — o suficiente para abastecer cerca de 2.200 residências. Hoje, o maior parque eólico offshore do mundo no início de 2026 — o Hornsea 3, no Reino Unido — tem uma capacidade de aproximadamente 2,85 GW, o que representa um aumento de 570 vezes em pouco mais de três décadas.

Um parque eólico offshore normalmente consiste em vários componentes, mostrados esquematicamente em Figura 2-1.

As turbinas são normalmente conectadas entre si por cabos inter-array em sequências de seis a dez turbinas. Historicamente, a tensão dos cabos inter-array era de 33 kV, mas projetos eólicos offshore mais recentes vêm adotando um sistema inter-array de 66 kV. Os cabos entre os arranjos conduzem à subestação offshore (ou plataforma transformadora offshore), onde a energia elétrica é “elevada” até sua tensão de exportação. O cabo de exportação conecta a subestação offshore à subestação em terra, onde a energia é transformada e condicionada para que possa ser integrada à rede elétrica existente.

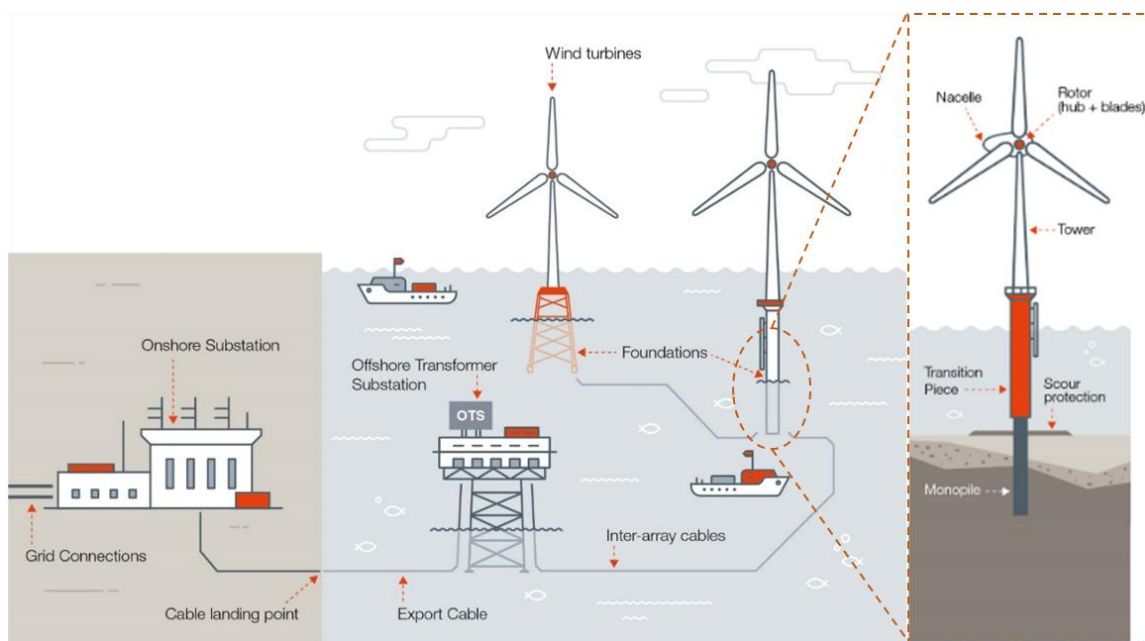


Figura 1-2 Elementos de um parque eólico offshore típico com fundações de base fixa

Os componentes de uma turbina eólica offshore típica, montada em uma fundação de monopilar, são mostrados no lado direito da figura acima e incluem o rotor (pás e cubo), a nacelle, as seções da torre, a peça de transição e o monopilar. As fundações *de monopilar* são o tipo mais comum de fundação (>80% dos casos), mas não são adequadas para todas as condições de solo. Na verdade, os tipos de fundação são normalmente determinados pela profundidade da água e pelas condições geotécnicas.

As fundações de monopilar são o tipo mais comum para profundidades de água de até aproximadamente 40-50 m. As fundações do tipo jacket, compostas por três ou quatro estacas, são mais caras de fabricar, mas podem ser utilizadas em águas mais profundas do que as de monopilar, ou em condições geotécnicas inadequadas para monopilares (por exemplo, solo muito duro para cravar ou muito mole para fornecer suporte lateral suficiente). As fundações *baseadas na gravidade* repousam sobre o leito marinho sem serem cravadas nele, contando com rochas ou enchimento de lastro para estabilização. Elas são frequentemente utilizadas em águas mais rasas (<20 m) e são mais baratas de fabricar. As fundações *tripé* oferecem uma solução intermediária para águas mais rasas, utilizando três estacas pré-instaladas para proporcionar estabilidade adicional em comparação com uma estaca única, embora a instalação seja mais complexa. A Figura 1-3 mostra esses outros tipos comuns de fundações para energia eólica offshore.

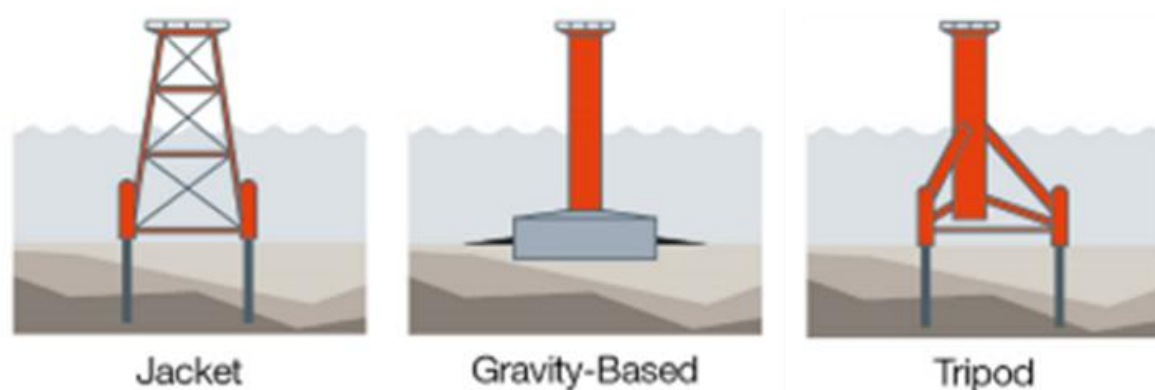


Figura 1-3 Outros tipos típicos de fundações para energia eólica offshore

Um outro tipo de fundação, não incluído acima, que poderia ser de particular relevância para as zonas costeiras rasas do Brasil é a fundação *com múltiplas estacas/capacete de estacas altas*, na qual uma plataforma de concreto é sustentada por várias estacas menores. Embora não seja comumente utilizada em projetos eólicos offshore de grande escala até o momento, esse tipo de fundação é adequado para águas muito rasas com condições desfavoráveis do leito marinho, e sua abordagem de instalação modular pode oferecer vantagens práticas no contexto brasileiro. Observa-se ainda que isso não afeta o escopo técnico geral do estudo.

1.7 Premissas do estudo para o desenvolvimento da energia eólica offshore

Esta seção descreve os principais pressupostos utilizados para definir os requisitos logísticos e as necessidades de infraestrutura portuária neste estudo para projetos eólicos offshore categorizados em duas vertentes: **Large Offshore** e **Nearshore**. Esses pressupostos orientam os critérios de triagem aplicados no Capítulo “3” e servem de base para as recomendações de melhoria desenvolvidas no Capítulo “4”.

É importante observar que a distinção entre “Large Offshore” e “Nearshore” reflete cenários de desenvolvimento hipotéticos para os fins deste estudo, e não limites prescritivos às características dos projetos eólicos offshore. Embora, na prática, tanto os projetos “Nearshore” quanto os de “Large Offshore” possam empregar uma ampla variedade de tamanhos de turbinas, a categoria “Nearshore” é representada aqui por meio de configurações de turbinas de menor escala, uma vez que isso resulta em menores requisitos de embarcações e infraestrutura portuária. Essa abordagem é considerada adequada para avaliar o desenvolvimento inicial do mercado no Brasil e para compreender as necessidades diferenciadas de modernização portuária. As premissas baseiam-se em práticas comuns do setor, mas não têm como objetivo definir limites absolutos para futuros empreendimentos eólicos offshore.

As duas categorias se distinguem, antes de tudo, pela **distância** da costa. Os projetos Large Offshore geralmente estão localizados a mais de 20 km da costa, enquanto os projetos Nearshore geralmente estão situados a menos de 20 km². Essa distinção determina requisitos de embarcações, complexidade logística e necessidades de infraestrutura portuária substancialmente diferentes.

² O limite de 20 km é um limite operacional adotado neste estudo para distinguir as duas vertentes de desenvolvimento. Não há uma definição universal de “Nearshore”, pois a distância varia de acordo com a geografia, a profundidade da água, considerações de impacto visual e o contexto regulatório. As definições na literatura variam de menos de 15 km até 20 km. O valor de até 20 km, utilizado pela Agência Dinamarquesa de Energia, é aplicado aqui para garantir a consistência em toda a avaliação e deve ser entendido como indicativo, e não como um limite regulatório fixo.

Para projetos Large Offshore, presume-se o uso de **turbinas** na faixa de 15 a 20 MW, refletindo as tendências recentes do setor em direção a modelos de turbinas maiores e mais eficientes, adequados para águas relativamente mais profundas (20-70 m) e projetos de maior escala. Para os fins deste estudo, presume-se que os projetos Nearshore utilizem turbinas menores, normalmente em torno de 6 a 8 MW cada, alinhadas a empreendimentos de média escala e profundidades de água mais rasas (3-20 m).

Quanto à escala do parque eólico, os projetos Large Offshore geralmente envolvem capacidades totais maiores, frequentemente na faixa de 500 a 1.000 MW. Esses projetos exigem capacidade portuária e logística substancial para acomodar componentes tão pesados e de grandes dimensões. Os projetos Nearshore tendem a ter menor capacidade instalada total, com uma capacidade estimada de 200 a 250 MW, com unidades de turbinas menores, o que permite uma escala ligeiramente menor de complexidade logística e requisitos de infraestrutura.

Os projetos Large Offshore empregam principalmente **tipos** tradicionais **de fundações** adequados para instalação fixa no leito marinho, como monopilares e estruturas tipo jacket. Os monopilares são comumente usados em trechos mais rasos desse grupo, normalmente até aproximadamente 50 metros de profundidade, enquanto as estruturas tipo jacket são preferidas para locais mais profundos. Para projetos Nearshore, presume-se o uso de fundações monopilares em toda a extensão, uma vez que representam o tipo de fundação mais amplamente utilizado para energia eólica offshore de fundo fixo em todo o mundo. Fundações baseadas em gravidade, fundações tripé e outros tipos de fundações não convencionais são reconhecidos como opções alternativas (consulte 1.7.1), mas não são modelados como premissas primárias para este estudo, dadas as tendências atuais do setor e as condições previstas do leito marinho nas principais zonas de energia eólica offshore do Brasil (consulte a Seção 1.6 para mais detalhes).

No que diz respeito às *embarcações de instalação*, os tipos variam de acordo com a categoria do projeto e os tamanhos dos componentes. Projetos Large Offshore exigem embarcações jack-up para cargas pesadas, capazes de manusear grandes geradores e turbinas, bem como estruturas de fundação. Projetos Nearshore podem utilizar embarcações de instalação menores, com capacidades de elevação e requisitos de calado mais baixos, permitindo maior flexibilidade operacional. Embarcações de apoio, como as destinadas à instalação de cabos, levantamentos topográficos e transporte de tripulação, são comuns em ambas as modalidades. Para a fase de O&M, presume-se o uso de Embarcações de Operação de Serviço (SOVs) para projetos Large Offshore (operando a cerca de 200 km do parque eólico), com CTVs para projetos Nearshore (a cerca de 100 km).

Ao analisar a ordem cronológica da mobilização dessas embarcações, a sequência típica de instalação para ambos os tipos de projeto geralmente segue um processo estruturado: (1) levantamentos pré-instalação e preparação do leito marinho, (2) instalação da fundação, (3) posicionamento da peça de transição, (4) montagem e instalação da turbina (incluindo torre, nacele e pá), (5) assentamento de cabos entre os arranjos e (6) comissionamento.

Essas premissas refletem os padrões tecnológicos e setoriais atuais e fornecem uma estrutura para avaliar a capacidade da infraestrutura portuária em relação ao desenvolvimento projetado da energia eólica offshore no Brasil. A tabela a seguir resume as principais diferenças entre as duas vertentes do projeto.

Tabela 1-2 Principais diferenças nas premissas estabelecidas para as duas vertentes

Aspecto	Large Offshore	Nearshore
Tamanho da turbina	15-20 MW	6–8 MW
Escala do projeto	500–1.000 MW	200–250 MW
Distância da costa	>20 km	Até 20 km
Profundidade da água	20-70 m	3–20 m

Tipo de fundação	Principalmente monopilares; jaquetas consideradas para áreas mais profundas	Principalmente monopilares; alternativas consideradas (consulte a seção 1.7.1)
Embarcações de instalação	Embarcações jack-up para cargas pesadas, embarcações de transporte pesado	Embarcações de instalação menores, com menor capacidade de elevação
Complexidade logística	Alta, devido aos tamanhos das turbinas e das fundações e aos desafios de transporte	Moderada, componentes menores e logística mais simples*
Sequência de instalação	Sequência completa, incluindo preparação do leito marinho, instalação da fundação e da turbina e assentamento de cabos	Semelhante, mas pode ser abreviada devido à menor escala
Necessidades de infraestrutura portuária	Cais de grandes dimensões com guindastes de grande capacidade de elevação, calados profundos e amplas áreas de preparação	Requisitos moderados para cais, com menor necessidade de capacidade de içamento

Observação: os componentes das turbinas eólicas — incluindo naceles, torres e monopilares — para projetos em águas rasas continuam sendo consideravelmente maiores e mais pesados do que cargas convencionais, e os requisitos portuários não devem ser subestimados com base nisso.

O que é relevante para este estudo é tanto o tipo de fundação considerado quanto as implicações que isso acarreta para os requisitos de infraestrutura portuária. O fator determinante não é apenas a fundação em si, mas também as embarcações necessárias para transportá-la e instalá-la. De particular importância é o envelope de projeto do monopilar, ou seja, suas dimensões e peso na posição de descanso determinam os requisitos de capacidade de carga do cais — e o tamanho da embarcação do tipo jack-up ou de carga pesada necessária para transportá-lo e instalá-lo. Presume-se que o porto de construção receberá barcas de transporte que entregam componentes (monopilares, peças de transição, torres, naceles etc.) e também atracará embarcações de instalação — embarcações do tipo jack-up ou de carga pesada com posicionamento dinâmico — que carregam os componentes para instalação offshore. A embarcação do tipo jack-up ou de carga pesada é, portanto, considerada o fator limitante para o dimensionamento da infraestrutura portuária, dados seus requisitos de calado, alto custo de fretamento e restrições de demanda. Cabos e estruturas secundárias também passam pelo porto de construção, mas geralmente requerem embarcações menores e envolvem componentes substancialmente mais leves.

1.7.1 Nearshore

Para o fluxo “Nearshore”, presume-se que o local modelado teria cerca de 200 a 250 MW e utilizaria turbinas de 6 a 8 MW. Isso equivaleria, aproximadamente, a 25 a 42 turbinas eólicas e componentes associados, que provavelmente terão de ser armazenados no cais. Com um bom planejamento, a quantidade (ou porcentagem) de componentes que devem ser armazenados no cais pode ser reduzida caso haja restrições de armazenamento, por meio de estratégias de entrega “just-in-time” ou soluções temporárias de armazenamento na água (por exemplo, armazenamento flutuante ou pré-armazenamento em barcas), quando viável. Isso pode, no entanto, impactar significativamente o cronograma se os gargalos não forem cuidadosamente gerenciados, o que pode levar a prazos de construção mais longos e resultar em indenizações por perdas e danos ou atrasos muito onerosos. Portanto, o próprio cais precisa ser suficientemente resistente para suportar a carga dos componentes mais pesados e grande o suficiente para permitir o armazenamento de uma proporção significativa do parque eólico proposto.

Espera-se que as atividades de construção de um parque eólico offshore de 250 MW em um porto leve, geralmente, cerca de 1 a 2 anos, incluindo a organização e o armazenamento dos componentes e levando plenamente em conta o risco de atrasos causados pelas condições climáticas. É importante observar que as atividades dedicadas referem-se a um terminal dentro do porto, ou seja, outras atividades comerciais continuarão operando em paralelo, desde que haja espaço adequado disponível.

O tamanho atual dos aerogeradores (6 a 8 MW para este estudo) significa que a maioria dos componentes (pás, cubos, naceles, torres, peças de transição, monopilares etc.) é grande demais para ser transportada por via terrestre, exceto em circunstâncias muito específicas. O transporte rodoviário desses componentes requer rotas livres de pontes ou cabos aéreos, além de veículos especializados do tipo esteira, que exigem condições especiais de via. Apesar dessa restrição geral, vale ressaltar que foram identificados fabricantes de pás (por exemplo, a Vestas) nas proximidades dos portos pré-selecionados, produzindo pás de até 80 m de comprimento. Isso demonstra que a entrega por via terrestre de pelo menos alguns componentes de escala costeira pode ser viável quando a fabricação está localizada nas proximidades das instalações portuárias.

Para os fins deste estudo, assumiu-se que todos os componentes serão fabricados nas proximidades de uma instalação portuária ou entregues no porto de construção exclusivamente por transporte marítimo. Para o transporte do canteiro de fabricação até o porto de construção, isso normalmente será feito por meio de uma barcaça de transporte. O resultado disso é que, embora seja importante que o porto não esteja fisicamente isolado (ou seja, que haja mão de obra adequada disponível em uma área razoável), não é essencial ter acesso terrestre para componentes muito grandes.

Para um parque eólico nearshore, geralmente prevê-se que um monopilar ou um tripé seja empregado como fundação padrão. Embora o tripé possa ser mais caro de fabricar do que um monopilar, ele oferece vantagens, pois os pilares individuais podem ser menores e, portanto, passíveis de fabricação local, além de serem potencialmente mais fáceis de instalar em águas mais rasas (profundidade de 3 a 20 m é geralmente considerada para parques eólicos nearshore).

Além dessas soluções padrão, existem também tipos de fundações não convencionais desenvolvidos especificamente para ambientes intertidais próximos à costa, conhecidos como “Fundação com Estacas Elevadas” (Chen & Jifu Zhou, 2018) ou a “Estrutura de Fundação com Capela de Estacas Elevada”. Esses sistemas foram implementados em vários projetos eólicos intertidais no Vietnã e na China, onde solos extremamente macios e grandes amplitudes de maré tornam as fundações offshore convencionais uma opção não ideal. Mesmo quando aplicados, esses tipos de fundação não alteram as considerações logísticas discutidas mais adiante neste relatório, pois normalmente apresentam menor peso estrutural total em comparação com os monopilares e ocupam menos espaço devido ao diâmetro reduzido e, em alguns casos, ao comprimento menor das estacas.

Em termos de requisitos de cais, observa-se que as necessidades de espaço são geralmente menos onerosas do que as dos projetos Large Offshore, mas a capacidade de suporte ainda será significativamente maior do que a normalmente observada em portos de contêineres ou de graneis.

O Brasil já possui um mercado eólico terrestre robusto e, do ponto de vista portuário e logístico, o principal diferencial entre as turbinas terrestres de projetos Large Offshore e as turbinas eólicas Nearshore é a necessidade de um monopilar e de uma peça de transição, bem como de complexas operações de assentamento de cabos submarinos. Para todos os projetos eólicos offshore, incluindo os nearshore, a produção e o manuseio de fundações com monopilares continuam sendo o principal desafio logístico devido ao seu grande tamanho e peso. Embora as turbinas eólicas offshore também incorporem adaptações de projeto, como proteção aprimorada contra corrosão, vedação reforçada da nacele e projetos de torre adaptados à análise integrada de carga com a fundação, esses aspectos não influenciam significativamente os requisitos de infraestrutura portuária e, portanto, não são avaliados mais detalhadamente neste estudo.

Tabela 1-3 Principais aspectos indicativos de parques eólicos fixos no fundo do mar em áreas próximas à costa

Aspecto	Intervalo Mínimo	Intervalo máximo
---------	------------------	------------------

Tamanho da turbina	6 MW	8 MW
Escala do projeto	200 MW	250 MW
Distância da costa	N/A	20 km
Profundidade da água	3 m	20 m
Altura do cubo	105 m	125 m
Diâmetro do rotor	155 m	172 m
Comprimento da pá	75 m	85 m
Peso da pá	25 t	35 t
Peso da nacele*	300 t	500 t
Peso da torre**	500 t	800 t
Peso do monopilar***	800 t	1.100 t
Dimensões do monopilar:		
Comprimento	50 m	85 m
Diâmetro	7 m	9 m
Comprimento do cabo entre matrizes (33 ou 66 kV)	34 km	41 km
Subestação offshore x subestação em terra	Subestação em terra	Subestação em terra

Observações:

* É importante observar que há uma ampla variação nos pesos potenciais da nacele, dependendo da tecnologia do sistema de transmissão. Os pesos indicados aqui oferecem uma gama de soluções possíveis

** Observe que a torre geralmente é transportada para o porto de construção em 3 a 4 seções e, em seguida, montada no porto de construção como uma única unidade de torre (incluindo conexões elétricas), sendo então carregada na embarcação de instalação como uma torre de unidade única.

*** Este é o peso combinado do monopilar e da peça de transição. Embora projetos sem peça de transição (TP) estejam ganhando força no setor, considera-se aqui uma conexão tradicional MP-TP (monopilar com peça de transição separada) com flange em L aparafusada e saia de injeção de argamassa.

**** Estes são valores estimados com base em modelagem empírica de parques eólicos conhecidos e em desenvolvimento, com base na média

1.7.2 Projetos Large Offshore

Para o segmento de Large Offshore, presume-se que o local modelado teria 500 MW e utilizaria turbinas de 15 a 20 MW. Isso equivaleria, aproximadamente, a 25 a 33 turbinas eólicas e componentes associados, que provavelmente terão de ser armazenados no cais. Com um bom planejamento, a quantidade (ou porcentagem) de componentes que devem ser armazenados no cais pode ser reduzida caso haja restrições de armazenamento. Isso pode, no entanto, impactar significativamente o cronograma, o que pode levar a prazos de construção mais longos e resultar em multas por atrasos ou danos muito onerosas. Portanto, o próprio cais precisa ser suficientemente resistente para suportar a carga dos componentes mais pesados e grande o suficiente para permitir o armazenamento de uma proporção significativa do parque eólico proposto. É importante observar que essas atividades específicas se referem a um terminal dentro do porto, o que significa que outras empresas continuarão operando paralelamente, desde que haja espaço adequado disponível.

Estima-se que as atividades de construção de um parque eólico offshore de 500 MW em um porto leve, geralmente, cerca de 2 a 3 anos, incluindo a organização e o armazenamento dos componentes e levando em conta, em sua totalidade, o risco de atrasos causados pelas condições climáticas. Observa-se que, por exemplo, no cluster do Sul, havia, no registro do IBAMA de 2025, 32 locais potenciais para parques eólicos offshore com uma capacidade proposta de pouco mais de 84 GW (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), 2025)³. Mesmo a construção parcial desse pipeline representaria um fluxo sustentado de atividades de construção ao longo de vários anos nos portos que atendem essa região. Isso ressalta o valor estratégico do investimento portuário antecipado: um porto que se estabeleça como um polo eólico offshore capaz tenderá a se beneficiar de um pipeline de longo prazo, em vez de um único ciclo de projeto.

O tamanho atual das turbinas eólicas (15-20 MW para este cenário) significa que a maioria dos componentes (pás, cubos, naceles, torres, peças de transição, monopilares etc.) é grande demais para ser transportado por via terrestre, exceto em circunstâncias muito específicas (isso se deve, tipicamente, ao fato de os componentes serem tão grandes e pesados que o acesso rodoviário deve garantir a ausência de pontes ou cabos aéreos, bem como ao fato de que os veículos de transporte seriam, normalmente, do tipo sobre esteiras, exigindo condições especiais de via, para citar os principais obstáculos ao transporte rodoviário). Além disso, para essas grandes turbinas, e com base no potencial de fabricação relatado em (UK Government, 2022), verifica-se que muitos componentes para a turbina eólica (nacele, pás, torre e fundações) provavelmente serão transportados do norte da Europa ou do leste da Ásia e, em seguida, agrupados/montados nos portos de construção. Espera-se que parte dos componentes seja fabricada localmente, mas a proporção seria significativamente menor do que no cenário nearshore. A tabela a seguir apresenta os intervalos mínimo e máximo para os principais aspectos dos grandes parques eólicos offshore a serem construídos. É importante observar que os valores máximos para a turbina eólica de 20 MW são projeções.

Tabela 1-4 Principais aspectos indicativos de grandes parques eólicos offshore com fundação fixa no leito marinho

Aspecto	Intervalo Mínimo	Intervalo máximo
Tamanho da turbina	15 MW	20 MW
Escala do projeto	500 MW	1.000 MW
Distância da costa	20 km	N/A
Profundidade da água	20 m	70 m
Altura do cubo	150 m	170 m
Diâmetro do rotor	236 m	270 m
Comprimento da pá	115 m	140 m
Peso da pá	65 t	>70 t
Peso da nacele*	600 t	900 t
Peso da torre**	1.200 t	2.000 t
Peso do monopilar***	1.700 t	4.000 t*****
Dimensões do monopilar:		
Comprimento	80 m	120 m
Diâmetro	9 m	12 m

³ Esse número diminuiu agora para 53 GW no registro de 2026 (Instituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis e Ambientais, 2026) .

Aspecto	Intervalo Mínimo	Intervalo máximo
Comprimento do cabo entre conjuntos (66 kV)	49 km	84 km
Subestação offshore x subestação em terra	1 subestação offshore e 1 subestação em terra	1-2 subestações offshore e subestações em terra
CAPEX total do projeto eólico offshore****	2,9 milhões de dólares/MW	4,7 USD/MW
Despesas com T&I do projeto eólico offshore****	600 a 850 milhões de dólares	940–1,4 milhão de dólares

Notas:

Todos os valores da tabela devem ser considerados como estimativas/faixas de referência que refletem as principais tendências do setor, e não como limites rígidos.

* Deve-se observar que há uma ampla variação nos pesos potenciais da nacelle, dependendo da tecnologia do sistema de transmissão. Esses pesos indicados oferecem uma gama de soluções possíveis.

** Observe que a torre geralmente é transportada para o porto de construção em 3 a 4 seções e, em seguida, montada no porto de construção como uma única unidade (incluindo conexões elétricas), sendo então carregada na embarcação de instalação como uma torre única.

*** Este é o peso do monopilar e da peça de transição. Observe que existem várias tecnologias de monopilar e peça de transição, incluindo uma solução sem peça de transição; porém, para fins de exemplo, será considerada uma conexão tradicional entre monopilar e peça de transição com flange em L aparafusada e saia de injeção de argamassa.

**** Estes são valores estimados com base em modelagem empírica de parques eólicos conhecidos e em desenvolvimento, com base em valores médios de mercado. Os preços subiram nos últimos dois anos devido, entre outros fatores, à inflação e às fortes pressões na cadeia de suprimentos.

***** Em águas tão profundas para turbinas de tamanho tão grande, há um forte argumento a favor do uso de uma fundação do tipo Jacket. Nesse caso, uma Jacket comparável pesaria aproximadamente 2.600 t, com estacas pesando 300 t cada.

2 O papel dos portos no desenvolvimento da energia eólica offshore

2.1 Introdução

Os portos são fundamentais em todas as fases do ciclo de vida de um projeto eólico offshore. Desde o levantamento e planejamento até a construção, comissionamento e operação e manutenção de longo prazo, a viabilidade, o custo e o cronograma de entrega de um projeto são determinados, em grande parte, pela qualidade, capacidade e proximidade da infraestrutura portuária da qual ele depende.

Este capítulo descreve como os portos funcionam na cadeia de suprimentos da energia eólica offshore e o que isso significa, na prática, para a infraestrutura que eles devem fornecer.

A Seção 2.2 apresenta o papel dos portos nas cinco fases do ciclo de vida de um parque eólico offshore, com foco especial nas fases de construção e operação e manutenção (O&M), que são o tema principal deste estudo. A Seção 2.3 descreve, em seguida, detalhadamente a logística, os tipos de embarcações e as operações de manuseio associadas aos portos de construção, enquanto a Seção 2.4 aborda o equivalente para os portos de O&M. O capítulo conclui com a Seção 2.5, que apresenta um resumo consolidado dos principais requisitos portuários decorrentes dessa análise — requisitos esses que constituem a base direta para os critérios de seleção aplicados no Capítulo 3.

2.1.1 Distinção entre portos e terminais

Para os fins deste estudo, portos e terminais são diferenciados da seguinte forma. Um *porto* é uma instalação ampla à beira-mar, de acesso público, que serve como porta de entrada para o comércio internacional, fornecendo infraestrutura geral, incluindo ancoradouro, instalações portuárias e serviços alfandegários, e administrada por uma autoridade portuária. Um *terminal* é uma instalação especializada dentro de um porto, voltada especificamente para o manuseio operacional, carregamento, descarregamento e armazenamento de determinados tipos de carga (como contêineres, grãos sólidos ou líquidos), normalmente operada por uma entidade privada sob um contrato de concessão ou arrendamento.

No processo de triagem e seleção de portos (Capítulo 3), os portos foram avaliados como entidades completas para permitir uma comparação consistente entre as regiões. Quando um porto é selecionado para avaliação detalhada (Capítulo 4), a análise identifica áreas específicas que necessitam de melhorias.

2.2 Papel dos portos no ciclo de vida da energia eólica offshore

A cadeia de suprimentos da energia eólica offshore é indissociável da infraestrutura portuária, uma vez que o acesso ao parque eólico deve ser facilitado exclusivamente por embarcações marítimas. À medida que o setor amadurece, o papel dos portos continua a evoluir, moldado pela dinâmica do mercado que determina o preço da disponibilidade de instalações, embarcações, componentes, janelas meteorológicas e distâncias entre os locais. O mercado de instalação de energia eólica offshore opera com base na oferta e na demanda: a frota global limitada de embarcações especializadas em instalação significa que o custo e a viabilidade de um projeto são altamente sensíveis à programação das embarcações. Conflitos com empreendimentos simultâneos ou com janelas meteorológicas e migratórias podem elevar rapidamente as tarifas diárias das embarcações

ou causar atrasos onerosos. Um porto de concentramento adequado, capaz de acomodar a frota de embarcações necessária de forma eficiente, é, portanto, uma ferramenta fundamental para a mitigação de riscos durante a fase de construção.

As atividades e funções típicas facilitadas pelos portos são apresentadas na Tabela 2-1 e agrupadas por fases do ciclo de vida dos parques eólicos offshore. Este estudo concentra-se nas Fases 3 e 4 — construção e O&M —, pois essas são as fases em que a infraestrutura portuária não apenas é necessária, mas deve estar próxima o suficiente do local para ser operacionalmente viável.

Tabela 2-1 Ciclo de vida dos parques eólicos offshore e fases dos portos

Fase	Fase do Parque Eólico Offshore	Função do porto
1	Planejamento (inclui projeto, desenvolvimento e licenciamento)	Embarcações de levantamento, áreas de teste, instalação de equipamentos de medição de vento e ondas.
2	Fabricação e aquisição	Carregamento, descarregamento e armazenamento dos principais componentes (turbinas, fundações, cabos etc.) de/para as instalações de produção.
3	Instalação/construção	Pré-montagem e preparação da torre da turbina e armazenamento/organização da nacelle, pás e fundações.
4	Operação e manutenção	Atracação de embarcações de operação e manutenção, hospedagem do armazenamento de peças de reposição e fretamento de tripulação.
5	Desativação e descarte	Desmantelamento e reciclagem.

O papel dos portos na **fabricação e aquisição** (Fase 2), embora não seja o foco principal deste estudo, ainda merece destaque no que diz respeito ao Brasil, onde a capacidade nacional de fabricação de componentes para energia eólica offshore está em desenvolvimento. As instalações de fabricação de componentes de turbinas podem estar localizadas no interior — utilizando portos próximos para transbordo — ou dentro do próprio porto. À medida que a potência nominal e as dimensões físicas das turbinas eólicas aumentam, o transporte rodoviário torna-se progressivamente menos prático, e a capacidade de carregar componentes diretamente em navios de carga ou de instalação em uma instalação adjacente ao porto torna-se uma vantagem logística e de custo significativa.

Para a fabricação de fundações, as taxas de produção variam significativamente de acordo com o tipo de instalação e o nível de investimento: pesquisas sugerem uma faixa de 70 a 350 unidades de monopilares por ano, dependendo do mercado-alvo. Fundações do tipo jacket são mais complexas de fabricar e geralmente apresentam menor rendimento para níveis de investimento equivalentes. Devido ao seu tamanho e peso, as instalações de fabricação de fundações para aerogeradores, sejam elas produtoras de monopilares, peças de transição ou jackets, estão quase invariavelmente localizadas próximas a vias navegáveis ou portos para permitir o transporte aquático dos elementos concluídos.

Os cabos de exportação e de interconexão entre os painéis eólicos são normalmente transportados diretamente das instalações de fabricação para o parque eólico offshore por meio de navios de assentamento de cabos, sem escala intermediária em portos. Embora a proximidade da fabricação de cabos ao parque eólico possa reduzir marginalmente os custos de transporte, o investimento de capital necessário para estabelecer uma nova capacidade especializada de fabricação de cabos no Brasil provavelmente superaria em muito qualquer economia desse tipo; portanto, isso não é considerado no escopo deste estudo.

Observa-se que vários fabricantes de pás já estão operando nas proximidades dos portos brasileiros pré-selecionados — incluindo a LM Wind Power, perto de Suape, e a Aeris Energy, perto de Pecém — produzindo pás de até aproximadamente 80 m de comprimento. Isso indica um certo grau de presença incipiente da cadeia de suprimentos no Brasil, que é relevante para o cenário “Nearshore” em particular e é discutido mais detalhadamente nas avaliações do Capítulo 4.

2.3 Utilização dos portos na instalação de turbinas eólicas

2.3.1 Logística e zonas portuárias

O porto de construção⁴ é o principal centro logístico para o armazenamento temporário, a pré-montagem e o embarque de componentes eólicos offshore. Esses portos geralmente estão localizados a aproximadamente 400 km do parque eólico offshore, a fim de limitar o tempo de trânsito de ida e volta ao local. Sempre que possível, eles também são posicionados próximos a centros de fabricação importantes, como os que produzem fundações, naceles e pás, para otimizar a logística e reduzir a complexidade do transporte.

Um processo típico de aquisição e instalação de componentes para um parque eólico offshore é mostrado na figura abaixo.

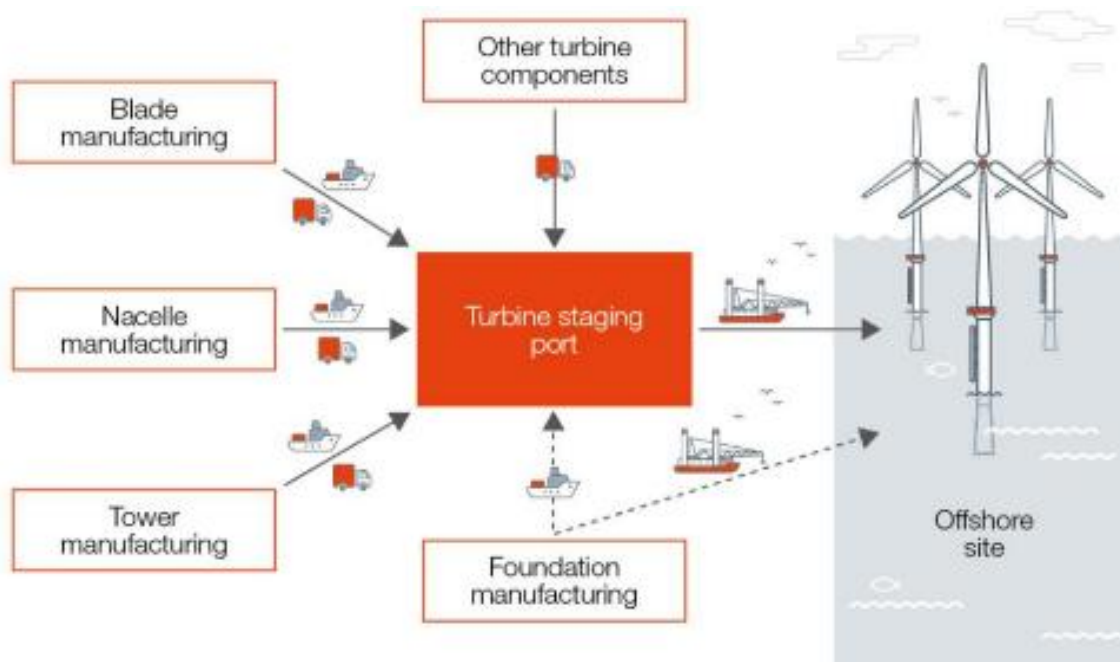


Figura 2-1 Processo típico de aquisição e instalação de componentes para um parque eólico offshore

Os componentes pré-montados das turbinas (pás, naceles, torre) são transportados para um porto de construção e preparados para a instalação offshore. Um terminal típico de parque eólico offshore pode ser dividido em quatro zonas, cada uma com uma função distinta, conforme ilustrado abaixo.

⁴ O termo “portos de construção” também pode ser referido como “portos de agrupamento”, “portos de preparação” ou “portos de instalação”.

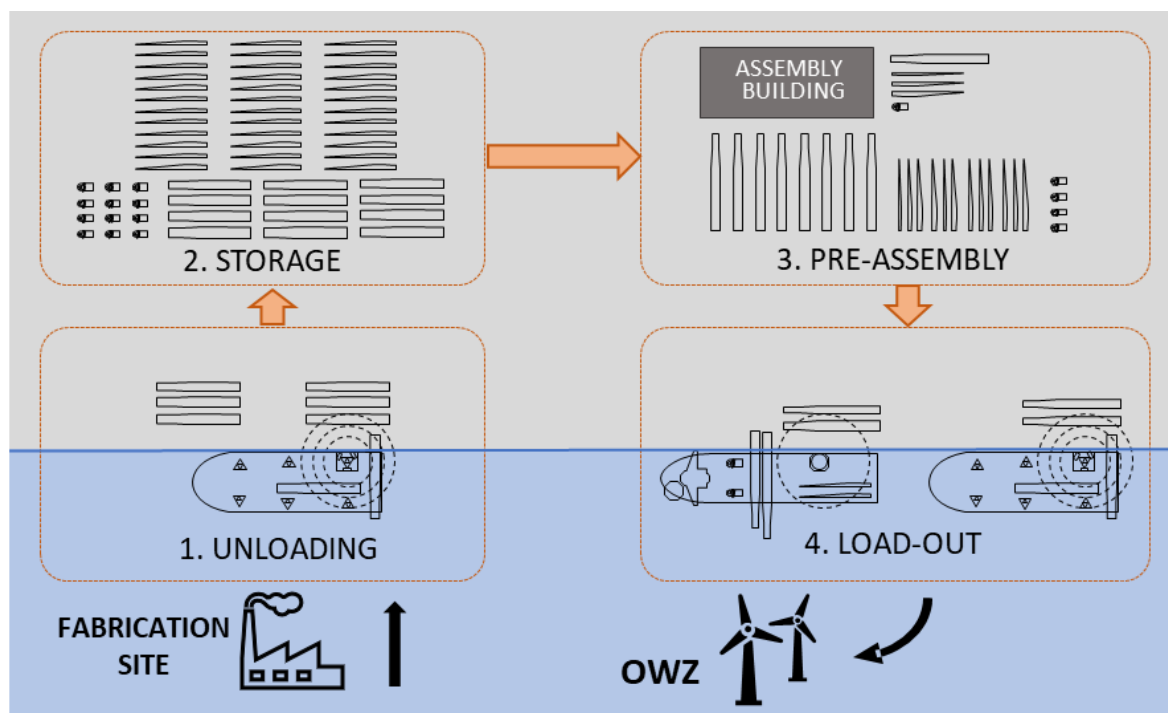


Figura 2-2 Layout esquemático de um porto de construção

Para facilitar o processo de descarga e carregamento, é necessária uma transição contínua entre o cais e o pátio de armazenamento. Isso garante o transporte ininterrupto dos componentes eólicos offshore, limitando possíveis gargalos logísticos – ou seja, pontes de acesso de pista única podem se tornar restrições críticas em cronogramas intensivos de carregamento. Além disso, isso ajudará a obter uma distribuição de carga mais uniforme entre o cais e a área de armazenamento. Nos casos em que o cais estiver separado da área de armazenamento, o espaço aberto entre o cais e a área de armazenamento deve ser aproveitado.

Área de Descarga e Carga (1)

- Recebimento de componentes principais e secundários das turbinas (acessórios, componentes elétricos etc.), inspeção, fixação e armazenamento (em edifícios, caso sejam sensíveis às condições climáticas); e
- As estruturas da área de pré-montagem são carregadas.

Área de Armazenamento (2)

- Espaço onde os componentes das turbinas eólicas são preparados e armazenados, e onde as estruturas de transporte vazias são armazenadas;
- Organizada em um determinado layout para atender à distribuição ideal dos componentes das turbinas eólicas, com base em uma abordagem de seleção específica que maximiza a produtividade e garante a segurança durante todas as operações;
- A área de armazenamento também pode ser configurada para acomodar atividades de lavagem, submontagem de componentes secundários (sob cobertura em edifícios/armazéns) e quaisquer armazéns e edifícios de escritórios.

Área de pré-montagem (3)

- Onde as torres são preparadas antes do carregamento no Navio de Instalação de Turbinas Eólicas (WTIV). As torres podem ser totalmente pré-montadas ou parcialmente montadas (montagem final no WTIV) caso a plataforma não atenda aos requisitos de capacidade de carga;
- Preparação da fundação, da nacelle, das pás e dos cabos para o carregamento;
- Inspeção de controle de qualidade e entrega da documentação necessária;

- Pré-comissionamento, onde os sistemas são verificados quanto à operacionalidade funcional para garantir a prontidão para os trabalhos de comissionamento – e reduzir a duração do processo de instalação no ambiente offshore).

Área de Carga (4)

- A zona imediatamente adjacente ao cais, onde os componentes são transferidos para a embarcação de instalação.

A Figura 2-3 mostra um exemplo do Porto de Esbjerg. As funções das zonas 3 e 4 (pré-montagem e carregamento) costumam ser combinadas quando o espaço no cais é limitado; no entanto, a programação das embarcações de abastecimento na Zona 1 deve ser cuidadosamente coordenada para evitar interferências nas operações críticas de carregamento. Embora o fluxo do processo permaneça o mesmo, o layout das respectivas zonas varia de projeto para projeto.

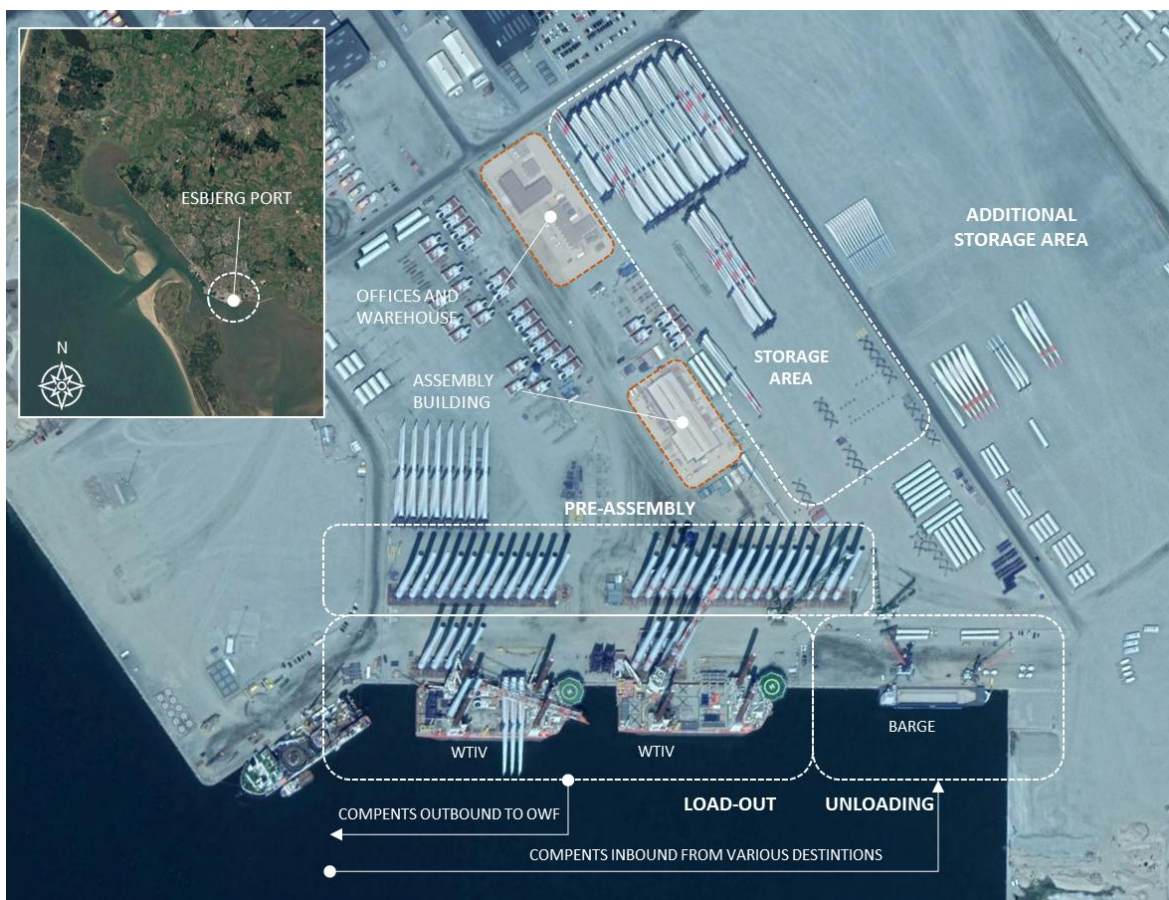


Figura 2-3 Layout típico de um porto de construção (Porto de Esbjerg)

2.3.2 Armazenamento e manuseio de componentes

O ponto de partida para estimar as necessidades de espaço e carga em um porto de construção são as propriedades físicas dos componentes a serem manuseados. As dimensões e os pesos dos componentes variam de acordo com o fabricante da turbina e com a abordagem específica de montagem e armazenamento adotada. As principais considerações sobre armazenamento e manuseio por tipo de componente estão resumidas a seguir:

- Fundações: As atividades de carregamento de fundações monopilares normalmente utilizam Transportadores Modulares Autopropulsados (SPMT). No entanto, esses equipamentos podem apresentar desafios em ambientes com marés intensas, onde a altura necessária da barcaça não pode ser mantida dentro de um limite seguro. Em alguns casos, a combinação do uso de SPMTs com grandes guindastes de anel pode ser uma solução para reduzir o tempo de inatividade. Os SPMTs também exigem mais espaço livre

no cais e podem reduzir significativamente as áreas de armazenamento. Aterros e suportes de aço ou concreto são normalmente utilizados para o armazenamento de monopilares no pátio, a fim de permitir o espaço necessário para que o SPMT entre por baixo do monopilar, o que auxilia nas operações de içamento. O carregamento pode ser realizado tanto por SPMT quanto por guindaste; no entanto, as cargas impostas pelos guindastes costumam ser muito maiores do que as impostas pelos SPMT devido à menor área de apoio e, em alguns casos, representam um limite para o tamanho das fundações que podem ser manuseadas no porto.

- **Peças de transição:** As peças de transição são geralmente armazenadas na vertical em uma área de 15 m x 15 m para permitir acesso por todos os lados. As estruturas de jaqueta são normalmente armazenadas na posição vertical. O transporte dessas peças de transição é geralmente feito por SPMT.
- **Torres:** As seções das torres geralmente chegam pré-cabeadas. No entanto, as plataformas internas das torres devem ser pré-montadas em uma instalação coberta no porto para proteger os componentes eletrônicos de potência sensíveis e outros equipamentos elétricos. As plataformas internas concluídas devem ser armazenadas e protegidas, seja na instalação de montagem ou em outro local, até que sejam içadas para o seu lugar dentro das torres e fixadas. As seções das torres devidamente cobertas e fixadas podem ser armazenadas com segurança ao ar livre para posterior carregamento.
- **Naceles:** A nacele constitui o principal componente da turbina, pois abriga o trem de força e o gerador da turbina eólica, bem como os sistemas de controle. Os componentes da turbina são mantidos em um pátio de armazenamento a céu aberto, afastado do cais. Cada componente possui uma estrutura de armazenamento e transporte para facilitar a manipulação e o içamento. Os componentes e as estruturas são armazenados em suportes selecionados com base nas limitações de carga e assentamento. Uma parte importante de uma turbina eólica é o cubo, que forma a principal conexão entre as pás e o trem de força. O cubo é uma conexão aproximadamente esférica que pode ser pré-montada na nacele ou transportada separadamente; em seguida, pode ser montada em uma “estrela do rotor” com as pás (e então içada até o local) ou montada na nacele no local da obra, sendo que as pás individuais são fixadas em alto mar.
- **Pás:** As pás podem ser armazenadas em vários níveis utilizando estruturas de empilhamento.
- **Subestações:** A parte superior da subestação é geralmente transportada diretamente do porto de fabricação para o local da obra. Em alguns casos, os componentes da fundação são armazenados em barcaças no porto de instalação, sem utilizar nenhuma área de preparação.
- **Cabos:** Os cabos de exportação e entre os arranjos podem ser armazenados no porto de construção em grandes tambores ou carrosséis de cabos. Os comprimentos dos cabos podem ser consideráveis — os sistemas de cabos entre os arranjos para um projeto de 500–1.000 MW podem totalizar até 100 km — e seus equipamentos de manuseio têm requisitos específicos de área e carga.
- **Consumíveis:** Um volume significativo de consumíveis (lubrificantes, fixadores, equipamentos elétricos e de segurança) deve ser armazenado no porto de construção em um espaço de armazém seco e protegido.

Como orientação, as principais propriedades gerais das turbinas eólicas (WTG) e das fundações para diversas turbinas são apresentadas na Tabela 2-2 e na Tabela 2-3. Observe que esses valores são indicativos, e o tamanho e o peso dos diversos componentes variam de acordo com as condições específicas do projeto (velocidade média do vento, profundidade da água, condições do solo etc.) e com o fabricante.

Tabela 2-2 Principais propriedades dos componentes de turbinas eólicas para diversas capacidades em MW

Componente	Propriedade	Unidade	6 MW ⁽¹⁾	8 MW ⁽¹⁾	15 MW ⁽²⁾	20 MW ⁽²⁾⁽³⁾
Torre	Comprimento	[m]	100	120	140	Até 165

*** De modo geral, as estruturas do tipo “Jacket” e “GBS” não são consideradas neste estudo, uma vez que as condições do local se prestam à aplicação de “Monopile”, o que é estabelecido como norma do setor.**

Não há requisitos para guindastes fixos nos portos de instalação. Isso se deve principalmente ao fato de que o carregamento é geralmente realizado por um guindaste de alta capacidade montado no WTIV, que não é sensível às variações das marés. Em alguns casos em que não há capacidade de suporte de carga suficiente no cais, a torre pode ser pré-montada da seguinte forma:

- Duas seções da torre, com apenas as seções 1 e 2 pré-montadas e as últimas seções carregadas separadamente; ou
- Sem pré-montagem, com todas as seções carregadas separadamente.

Os requisitos de área de armazenamento podem ser estimados multiplicando-se a área ocupada por uma turbina pelo número de turbinas que precisam ser armazenadas no porto. Também deve-se considerar espaço adicional para armazenamento e escritórios. Na prática, o número de componentes armazenados em um determinado momento é determinado pelo ritmo de instalação e pela estratégia de entrega adotada. Abordagens de entrega “just-in-time” (JIT) podem reduzir os requisitos de área de armazenamento e podem ser uma opção, por exemplo, para projetos em águas costeiras. Para grandes projetos offshore, e particularmente no contexto de um mercado emergente como o Brasil, onde as cadeias de suprimentos são predominantemente internacionais, as estratégias JIT introduzem um risco logístico significativo: os cronogramas de transporte transoceânico estão sujeitos às condições climáticas, ao congestionamento portuário e à disponibilidade de embarcações, e qualquer falta no estoque de segurança de componentes pode resultar em tempo de inatividade dispendioso para a embarcação de instalação. As áreas de armazenamento apresentadas neste estudo refletem, portanto, uma linha de base conservadora, porém robusta, dimensionando a infraestrutura portuária para acomodar todas as demandas logísticas do projeto sem depender de cronogramas de entrega rigidamente coordenados.

É importante observar que há vários fatores que influenciam as necessidades de área. Os tamanhos dos componentes variam de um fabricante para outro, e a densidade de armazenamento também pode influenciar. As pás podem ser empilhadas, o que afeta significativamente a área necessária. Além disso, dependendo da localização e da estratégia de instalação utilizada, o número de componentes armazenados temporariamente no porto pode abranger parte ou a totalidade do projeto. Um exemplo é apresentado na tabela abaixo.

Tabela 2-4 Exemplo de estimativa da área de armazenamento necessária

Componente	Propriedade	Unidade	Nearshore	Large Offshore
Torres	Área	[m ²]	1060	1.400
Gôndola	Área	[m ²]	230	335
Pás	Área	[m ²]	775 (1 a 3 prateleiras)	930 (1 a 3 racks)
WTG	Área	[m ²]	3.620 / 2.070*	4525 / 2665*
Tamanho do OWF		[MW]	200-250	500–1000
Nº de turbinas eólicas		[-]	25-42	67
Área necessária		[ha]	15 - 20	20 - 40
* Pás empilhadas				

O exemplo acima apresenta a área necessária para armazenar todos os componentes do aerogerador no porto. Isso não é necessário em todos os projetos, e geralmente é o ritmo da

instalação que determina a área de armazenamento necessária para os componentes do aerogerador.

Figura 2-4 e Figura 2-5 fornecem referências adicionais sobre a escala desses diversos componentes eólicos offshore, juntamente com exemplos de operações de armazenamento, manuseio e carregamento.



Figura 2-4 Operações de armazenamento de pás, nacelle e torre



Figura 2-5 Operações típicas de carregamento e armazenamento de fundações

2.3.2.1 Preparação do solo e carregamento

Os requisitos de capacidade de carga de um porto de construção eólica offshore estão entre os mais exigentes de qualquer uso portuário industrial. Durante o armazenamento, o assentamento do solo

é geralmente limitado a 5 cm, e inclinações permitidas de até aproximadamente 3% podem ser aceitáveis. Isso, no entanto, depende de diferentes fatores, como o escoamento das águas pluviais e a inclinação máxima para a operação de veículos SPMT. O assentamento deve ser previsto devido às altas cargas de apoio dos diversos componentes, e seu gerenciamento deve ser incorporado tanto ao projeto e à construção da área de armazenamento quanto às tolerâncias operacionais e medidas de manutenção ativa. Ambos podem apresentar diferentes cronogramas de custos e compromissos. Isso é particularmente relevante em casos que exigem recuperação, melhoria ou substituição do solo.

A tabela abaixo apresenta uma visão geral das cargas típicas na superfície (solo) dos diversos componentes e atividades normalmente encontrados em terminais eólicos offshore.

Tabela 2-5 Atividades, equipamentos e cargas estimadas no porto de instalação de energia eólica offshore

Atividade	Equipamento	Carga estimada (com base em turbinas eólicas de 10 a 15 MW)	Métodos para reduzir a carga
Carga nos componentes do WTG	SPMT/Rampa Guindastes sobre esteiras Guindastes móveis (pás)	10 t/m ² quando descarregado/transportado por SPMT (carga sob os eixos do veículo) 30 t/m ² ao descarregar com guindaste pesado (carga sob os trilhos do guindaste)	Camada de pedra britada ou cascalho Tapetes para guindaste ou fundação para guindaste
Carregamento de componentes de turbinas eólicas	Guindaste WTIV/ Guindaste HLV	Sem carga na plataforma	
Carregamento/d Descarregamento de MP	SPMT Guindaste sobre esteiras	10-12 t/m ² (carga sob os eixos do veículo) 25-60 t/m ² (carga sob as esteiras do guindaste)	Camada de pedra britada ou cascalho Tapetes para guindaste ou fundação para guindaste
	Guindaste de navio/ Guindaste para veículos de grande porte	Sem carga na plataforma	
Transporte e carga/descarga de TP	Guindaste sobre esteiras	20-30 t/m ² (carga sob os trilhos do guindaste)	Camada de pedra britada ou cascalho Tapetes para guindaste ou
	SPMT	10 t/m ² (carga sob os eixos do veículo)	

			fundação do guindaste
	Guindaste de navio	Sem carga na plataforma	
Transporte de componentes de turbinas eólicas	SPMT	10 t/m ² (carga sob os eixos do veículo)	Camada de pedra britada ou cascalho
Montagem de torres	Guindaste sobre esteiras	Guindaste + seção T1 até 30 t/m ² (carga sob os trilhos do guindaste)	Placas de apoio para guindaste Fundações
Armazenamento de gôndolas	Blocos de concreto	Varia de acordo com o layout, a área de implantação, o equipamento de içamento...	Plataformas para guindastes Aterros
Armazenamento de seções de torre	Placas de apoio para guindastes		
Armazenamento de lâminas	Suportes / estruturas		
Armazenamento de monopilares	Bases de concreto/aço ou cascalho		
Armazenamento de TP	estruturas/suportes Blocos de concreto		

2.3.3 Frotas de embarcações

Esta seção oferece uma visão geral das embarcações típicas que fazem escala em portos de preparação/construção. O tamanho e a manobrabilidade de uma determinada embarcação determinam os requisitos de navegação no porto. Exemplos das embarcações discutidas neste documento, bem como suas dimensões, estão disponíveis em Tabela 2-6.

Os componentes de turbinas são transportados por navios de carga múltipla e por navios de convés aberto. Alguns navios de carga múltipla também foram adaptados para servir exclusivamente ao transporte de pás ou naceles. Eles podem ser equipados com uma proa elevatória para permitir o processo de carregamento RORO (roll-on/roll-off).

Navios RORO são navios de carga projetados para transportar cargas sobre rodas, como carros, motocicletas, caminhões, caminhões com semirreboques, ônibus, reboques e vagões ferroviários, que entram e saem do navio por conta própria ou utilizando um veículo de plataforma, como um transportador modular autopropelido. Isso contrasta com os navios do tipo lift-on/lift-off (LOLO), que utilizam um guindaste para carregar e descarregar a carga. As embarcações RORO possuem rampas integradas ou em terra, ou ainda rampas de balsa, que permitem que a carga seja eficientemente transportada para dentro e para fora da embarcação quando esta está no porto.

Os componentes das turbinas eólicas (torre, nacele e pás) são geralmente instalados por meio de embarcações elevatórias especializadas, **as Embarcações de Instalação de Turbinas Eólicas (WTIVs)**, que são projetadas especificamente para instalações eólicas offshore e têm a capacidade de elevar a embarcação do leito marinho e levá-la inteiramente para fora da água. As embarcações jack-up são necessárias devido às grandes alturas do cubo das turbinas e proporcionam a estabilidade e o controle exigidos durante atividades de içamento pesado na altura

do cubo, com tolerâncias rigorosas. Além disso, as WTIVs jack-up também podem ser utilizadas para a instalação de fundações.

Para carregar os componentes, o WTIV precisa ser elevado ao lado do cais de carregamento. Isso minimiza o movimento e os possíveis danos aos componentes durante o içamento e a fixação marítima, sendo um dos fatores determinantes que devem ser levados em conta na qualificação de um porto para a preparação da operação. No passado, isso era resolvido determinando-se uma distância mínima do cais e estimando-se a penetração dos pinos de fixação no leito marinho. No entanto, o aumento no tamanho dos componentes limitou o alcance do guindaste, e atualmente a preferência é garantir que as embarcações possam elevar-se sem necessidade dessa distância. Isso pode ser garantido por meio de vários métodos de reforço do leito marinho, que podem ser alcançados por diferentes técnicas, tais como, entre outras:

- leito de pedras para distribuir a carga dos spuds
- inclusões rígidas
- melhoria do solo
- confinamento lateral

Uma alternativa seria verificar se a penetração das pernas não compromete a estabilidade do cais e se uma distância segura em relação ao cais é mantida. No entanto, isso deve ser cuidadosamente considerado e evitado para cais que são intensamente utilizados para instalação.

Com o desenvolvimento de projetos eólicos offshore em todo o mundo, diferentes restrições (como alturas livres verticais e condições do solo) levaram ao desenvolvimento de processos alternativos de carregamento e métodos de instalação⁵.

Além das propriedades típicas das embarcações apresentadas em Tabela 2-6, Figura 2-6 até Figura 2-8 mostram exemplos disso.

Tabela 2-6 : Embarcações típicas que fazem escala em portos de construção de parques eólicos offshore

Tipo de embarcação	Nome	Comprimento total (LOA) [m]	B [m]	Calado [m] ⁽¹⁾	Comentário
Transporte de componentes de turbinas eólicas					
Navio de carga múltipla	M/V Pacifica	138,5	21,0	8,0	Capacidade de 300 t
Transportador de componentes offshore	Rotra Vente	141,0	20,0	6,5	Navio roll-on/roll-off com proa e convés nivelado
Navio de convés aberto	M/S Meri	105,5	18,8	4,7	1.660 m ²² área de convés
Conceito de navio alimentador	Projetado por Ampelmann	103,5	23,8	5,5	20 tripulantes + 12 passageiros; 2,5 m Hs
Transporte e instalação de componentes de fundação					

⁵ A Heerema Marine Contractors desenvolveu um método de montagem e instalação de turbinas eólicas XXL em uma embarcação flutuante com posicionamento dinâmico (testado utilizando a embarcação-guindaste Sleipnir). O método foi utilizado no parque eólico offshore Arcadis Ost1, no Mar Báltico. A empresa empregou a embarcação Thialf para o projeto, que conseguiu passar pela Ponte de Storebaelt.

Embarcação para cargas pesadas	Seaway Yudin	183,3	36	5,5–8,9	Guindaste principal de 2.500 t; 2.560 m ²
Navio-guindaste	Svanen	102,8	74,6	4,5	Capacidade de 5.705 t
Semi-submersível	GPO Grace	225	48	10,6	183 x 48 m de convés livre
Semi-submersível	MV. Sun Shine	168,5	40	7,08	134 x 44 m de área de convés
Embarcação elevatória	Aeolus	139,4	44,5	10,1	3.775 m ² 2 área do convés
Embarcações para instalação de turbinas eólicas					
WTIV (jack-up)	Wind Orca ⁽²⁾ (recentemente modernizada)	160,9	49,0	6,0	Guindaste de 1.200 t a 31 m
WTIV (plataforma elevatória)	Voltaire ⁽²⁾	169,3	60,0	7,5	Guindaste de 3.000 t Carga útil para elevação de 14.000 t
Nova geração de navios de instalação para parques eólicos offshore de grande escala					
Embarcação FDP	Thialf ⁽²⁾	201,6	88,4	11,9	Capacidade de 14.200 t
Navio com guindaste semi-submersível	Sleipnir ⁽²⁾	220	102	12	Capacidade de 20.000 t
WTIV	Orion ⁽²⁾	216,5	49,0	11,0	Guindaste de 5.000 t a 35 m Também para instalação de XXL MP e jaquetas
WTIV (plataforma elevatória)	Atlas-A ⁽²⁾	155,4	57,4	6,5	@14.000 t de porte bruto
Nota 1: Calado da embarcação representado em condição de carga total.					
Nota 2: WTIV capaz de transportar/instalar componentes eólicos offshore de 15 MW.					

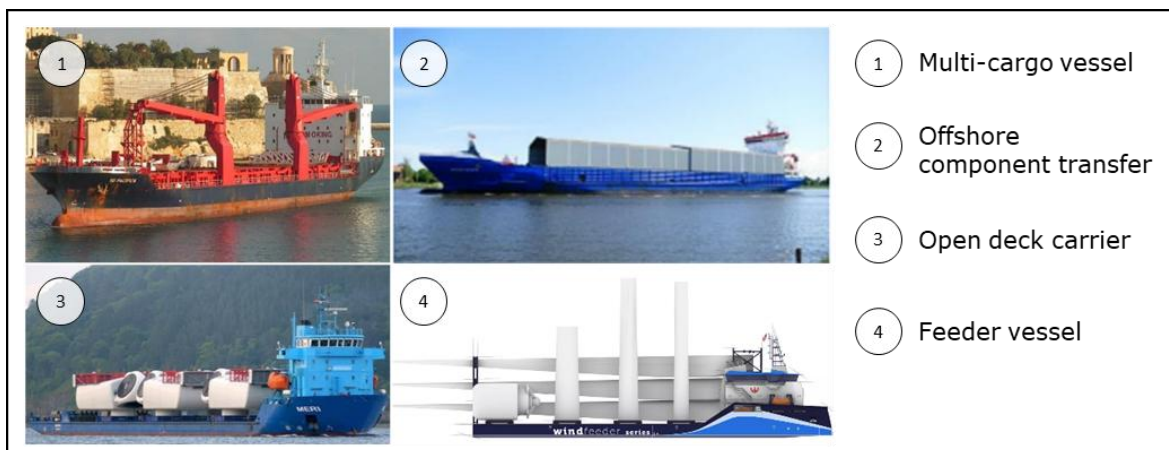


Figura 2-6 : Transporte de componentes de turbinas eólicas (WTG)

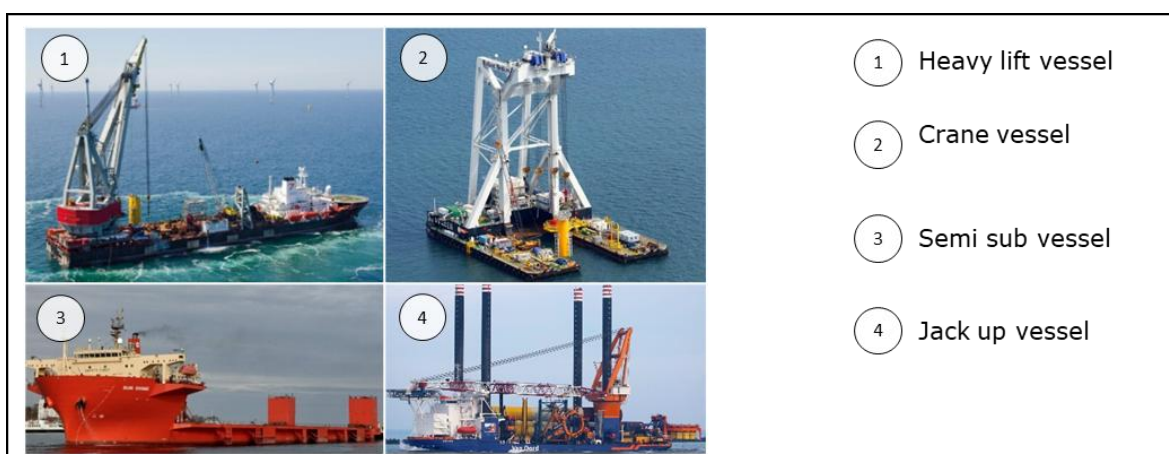


Figura 2-7: Embarcações para transporte e instalação de componentes de fundação

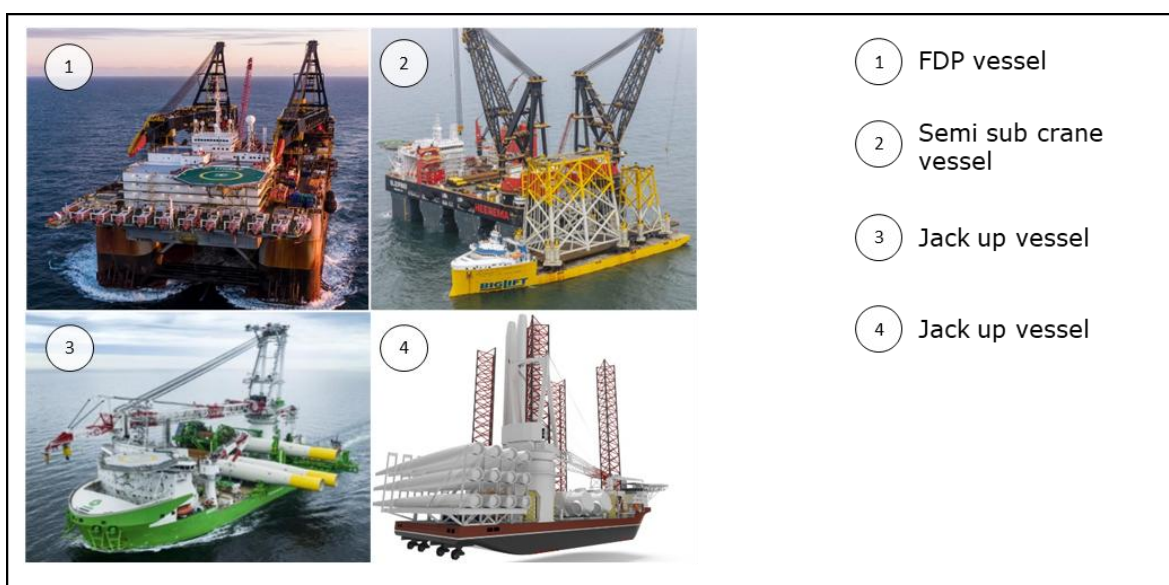


Figura 2-7 : Embarcações de instalação de turbinas eólicas (WTIVs)

Observa-se que, para projetos nearshore, os requisitos de transporte, içamento e instalação não são tão onerosos quanto para a Large Offshore e, portanto, as embarcações não precisam ser tão grandes nem de última geração. Abaixo estão listadas algumas embarcações de instalação em potencial para projetos nearshore.

Tabela 2-7 Exemplos de embarcações adequadas para projetos nearshore

Tipo de embarcação	Nome	Comprimento total (LOA) [m]	B [m]	Calado [m] ⁽¹⁾	Comentário
Plataforma elevatória para instalação de monopilares	Deme Innovation	147,5	42	7,3	Guindaste com capacidade de 1.500 t, convés livre de 3.400 m ² , pernas de 89 m Utilizada em águas rasas, mas normalmente para grandes projetos
Plataforma elevatória para cargas pesadas	Jan De Nul Vole au Vent	140,4	41	6,3	Capacidade do guindaste de 1.500 t, convés livre de 3.535 m ² , pernas de 90 m
Plataforma elevatória	Seajack Scylla	139	50	6	Especificamente otimizada para turbinas eólicas de 5 a 7 MW, com pernas de 105 m
Barcaças*	-	30-80	15-32	1,5-4	Plataforma modular com pernas de fixação, sujeita a restrições de eclusas. Exemplo: Fryslân IJsselmeer — 62 × 53 m montada, guindaste de 1.250 t, calado de ~2 m.
Nota 1: Calado da embarcação representado em condição de carga total. Veja a figura abaixo.					



Figura 2-8: Barcaça. Parque eólico Fryslan.

Outras embarcações envolvidas nas atividades de construção incluem:

- Barcaças de transporte
- Embarcações de instalação de cabines
- Embarcações de abastecimento de plataformas
- Rebocadores
- Embarcação de segurança / Embarcação de resgate e resposta a emergências (ERRV)
- Embarcação multifuncional para projetos
- Embarcação de guarda

Essas embarcações são normalmente menores e, portanto, suas dimensões não são os fatores determinantes para os requisitos portuários.

2.3.3.1 Embarcações de instalação e programação

Conforme mencionado acima, a instalação das turbinas é normalmente realizada por WTIVs. Devido ao significativo custo de capital e à disponibilidade global limitada dessas embarcações, as taxas de afretamento são substancialmente mais altas do que as de navios de carga convencionais.

Para um programa de instalação de turbinas eólicas de 15 MW, as taxas diárias indicativas de WTIV variam entre 500.000 e 1.000.000 de euros por dia (excluindo mobilização, desmobilização e embarcações de instalação secundárias), com taxas variáveis dependendo da demanda global. À medida que os parques eólicos offshore aumentam de tamanho e novas áreas entram em operação no norte da Europa, isso provavelmente elevará o preço do número já limitado de WTIVs. As instalações portuárias são frequentemente localizadas e planejadas para minimizar o tempo de afretamento dos WTIVs.

Presume-se que a taxa de instalação do WTIV seja de 3 a 4 dias por turbina (nacele, pás e torres), o que inclui o carregamento, o transporte e um tempo de inatividade razoável devido às condições climáticas. Portanto, considerando um parque eólico de 1 GW (turbinas de 15 MW), isso levaria aproximadamente 8 a 9 meses com um único WTIV — embora, na prática, restrições climáticas sazonais, conflitos de disponibilidade de embarcações e atrasos na produção frequentemente prolonguem a duração total da construção além dessa estimativa. Portanto, com uma

produtividade mensal de aproximadamente 8 a 10 turbinas por mês, a área de armazenamento deve permitir uma área de depósito de pelo menos o dobro desse volume para garantir um estoque de segurança suficiente em caso de atrasos no transporte e na produção.

Peças de transição e estruturas de fundação (monopilares, jaquetas) podem ser totalmente montadas no estaleiro de fabricação e precisam apenas ser descarregadas das barcas de transporte no porto de transbordo antes de serem carregadas na embarcação de instalação. Alternativamente, a estrutura secundária de aço e o acabamento podem ser concluídos no porto de transbordo, caso a capacidade do estaleiro de fabricação ou o cronograma assim o exijam.

2.4 Utilização portuária na operação e manutenção (O&M) de turbinas eólicas

Os requisitos de infraestrutura para portos de O&M são substancialmente menos onerosos do que para portos de construção. As embarcações são menores, os pesos dos componentes são menores e não são necessárias operações pesadas de carregamento.

No entanto, a restrição mais importante para a seleção de um porto de O&M é a proximidade ao parque eólico: a eficiência operacional e o tempo de resposta à manutenção são diretamente determinados pelo tempo de trânsito, tornando a localização geográfica o fator dominante na adequação do porto para O&M.

Essa restrição de proximidade é particularmente significativa no contexto brasileiro, onde as três regiões de energia eólica offshore abrangem extensas distâncias costeiras, com a região Nordeste, por si só, se estendendo por aproximadamente 800 km. Um único porto de O&M não pode, de forma razoável, atender a toda uma região, o que significa que a rede de portos de O&M precisará ser distribuída por vários locais à medida que o mercado se desenvolver. Normalmente, um porto de O&M precisaria estar a, no máximo, 2 horas de viagem do parque eólico offshore para que o plano de O&M seja viável; caso contrário, pode ser necessário um hotel flutuante ou acomodação offshore no local.

2.4.1 Logística

Os parques eólicos offshore em operação exigem inspeção e manutenção regulares para minimizar o tempo de inatividade e maximizar a geração de eletricidade. Essas atividades geralmente incluem:

- Gestão do ativo: monitoramento remoto, monitoramento ambiental, administração etc.
- Manutenção preventiva: inspeções de rotina, troca de óleos lubrificantes e substituição regular de peças de desgaste.
- Manutenção corretiva: reparo ou substituição de componentes com falha ou danificados.
- Além disso, a estratégia de O&M varia de um operador para outro, com o objetivo de encontrar o equilíbrio ideal entre o acesso ao ativo e o suporte em terra. Segue abaixo uma definição típica dos dois termos.
- Acesso ao ativo: tempo de deslocamento e tempo necessário para que o pessoal de O&M chegue até a turbina.
- Suporte em terra: disponibilidade de peças e serviços necessários para a manutenção ou reparo.

Os portos-base de O&M podem estar em um local totalmente diferente dos portos de instalação, já que seu principal requisito é estar nas proximidades do parque eólico offshore. Além disso, os requisitos de infraestrutura são menos exigentes em comparação com os portos de construção.

A estratégia de O&M pode ser dividida, de maneira geral, em dois grupos:

- Baseada em terra: em que o pessoal e as peças de reposição ficam no porto e são transportados para o parque eólico offshore.
- Com base offshore: em que o pessoal e as peças ficam em uma base de acomodação fixa ou flutuante.

Idealmente, um porto de O&M deve ter de 0,75 a 1,5 ha de área disponível, adjacente ao cais, para permitir instalações em terra, como escritórios, armazenamento, acomodações e oficinas. Para parques eólicos atendidos por CTVs, o porto de O&M está normalmente localizado a 50-100 km do parque eólico.

Com um conceito de serviço SOV, o porto de O&M fica normalmente a 100–200 km do parque eólico. Os portos de O&M para SOVs estão se tornando cada vez mais populares entre os desenvolvedores. Como as embarcações retornam ao porto com menos frequência, o cais pode ser compartilhado com embarcações de outros operadores de terminais, maximizando o uso do porto. Além disso, o SOV pode realizar certas tarefas a bordo da embarcação que, originalmente, seriam realizadas no pátio de armazenamento. Isso, em última análise, garante que seja necessária menos área de pátio para as atividades de O&M do SOV.

A Figura 2-9 mostra um porto típico de O&M para embarcações CTV e SOV.

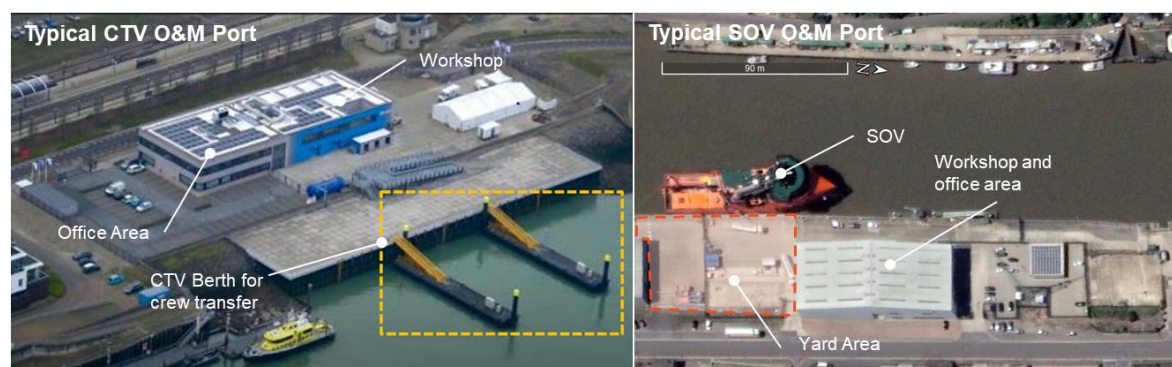


Figura 2-8 : Portos típicos de O&M para CTVs e SOVs

2.4.2 Frotas de embarcações

Os CTVs são pequenas embarcações com comprimento total de 15 a 30 m e calado raso. São utilizados para chegar a parques eólicos relativamente próximos da costa e servem para viagens de um dia, com a tripulação retornando à costa ao final do dia. Para acomodar os CTVs, os portos precisam de cerca de 4 m de profundidade na entrada do canal e no cais, uma largura de entrada no porto de aproximadamente 12 m e uma altura livre de apenas 10 m, já que os CTVs não transportam componentes de grandes dimensões. Ao utilizar CTVs, apenas peças de reposição e equipamentos são armazenados no porto; consequentemente, não é mais necessária uma alta capacidade de carga.

Os SOVs são embarcações maiores, com áreas de alojamento da tripulação e de armazenamento no convés. Eles podem permanecer no mar por períodos mais longos (até duas semanas), o que os torna úteis para parques eólicos mais distantes da costa ou Large Offshore. Em comparação com os CTVs, os SOVs exigem berços mais profundos (aproximadamente 7 m) e mais longos, bem como uma altura livre vertical maior (acima de aproximadamente 40 m). A Table 2-8 resume as embarcações típicas que atracam em portos de O&M de energia eólica offshore, com a Figura 2-10 fornecendo exemplos.

Table 2-8 Embarcações típicas que atracam em portos de O&M de energia eólica offshore

Tipo de embarcação	Nome	Comprimento total (LOA) [m]	B [m]	Calado [m]	Comentário
--------------------	------	-----------------------------	-------	------------	------------

CTV	Damen FCS 2610	26,3	10,3	2,4	100 m ² de área de convés, 12 tripulantes
CTV	Ribcraft CRC Voyager	15,0	3,6	0,7	1.500 kg de carga útil, 12 tripulantes
CTV	MHO-Balder	35,89	11	1,59	8 cabines individuais para a tripulação de 6 pessoas. Área do convés de 175 m ²
CTV	MHO Flash	27,1	10,4	3,2	Tripulação de 3 a 6 pessoas. Área do convés de 40 m ²
SOV	Ulstein SX 175	88	18	6,4	350 m ² de área de convés, 60 a 90 tripulantes
SOV	ESVAGT SOV	93	19,6	6,5	124 tripulantes
Nota: Calado da embarcação representado em condições de carga total.					



Figura 2-10: Embarcações CTV e SOV típicas

2.5 Requisitos portuários típicos para energia eólica offshore

A seguir, é apresentada uma visão geral dos principais requisitos portuários para a construção e a operação e manutenção (O&M) de parques eólicos offshore, derivados da análise operacional deste capítulo. Esses requisitos estabelecem o contexto para os critérios de referência detalhados desenvolvidos no Capítulo 3 e aplicados no processo de triagem descrito no Capítulo 4.

2.5.1 Requisitos para portos de construção

Os portos de construção são fundamentais para a implantação bem-sucedida e a operação contínua de parques eólicos offshore, servindo como centros críticos que facilitam as atividades de fabricação, montagem, organização e operação necessárias ao longo de todo o ciclo de vida do projeto. Esses portos devem ser cuidadosamente projetados e equipados para lidar com as demandas específicas impostas pela natureza complexa e em grande escala da infraestrutura eólica offshore. Assim, uma compreensão geral dos requisitos portuários prepara o terreno para critérios mais detalhados que serão explorados posteriormente.

As instalações de montagem e, em alguns casos, de fabricação dentro dos portos de construção são essenciais para os principais componentes das turbinas eólicas, como pás, torres e naceles, ou para operações de pré-montagem. Essas atividades exigem disponibilidade substancial de terreno para acomodar operações industriais em grande escala, muitas vezes requerendo amplas áreas de armazenamento e depósito para gerenciar os componentes com segurança e eficiência. A integridade estrutural das paredes dos cais deve ser suficiente para suportar cargas pesadas de fabricação, incluindo a movimentação e o armazenamento de elementos de grandes dimensões. Além disso, a proximidade com as cadeias de abastecimento e o acesso multimodal — incluindo rodoviário, ferroviário e, às vezes, vias navegáveis interiores — aumenta a eficiência logística durante a fabricação.

As operações de agrupamento, que envolvem a preparação e o armazenamento temporário de componentes de turbinas antes da instalação em alto mar, exigem portos com cais de grande extensão e alta resistência do pátio e do cais. Uma profundidade de calado significativa também é fundamental para acomodar as grandes embarcações de instalação e barcas de transporte, que possuem calados profundos e requerem espaço de manobra para atividades seguras de atracação e carregamento. O acesso à navegação é outra consideração fundamental; canais de navegação amplos e desobstruídos (horizontal e verticalmente), com janelas de maré adequadas, permitem movimentos eficientes das embarcações. Equipamentos para cargas pesadas, como guindastes de pórtico ou guindastes móveis especializados, são vitais para o carregamento e descarregamento seguro de componentes de grande porte, exigindo infraestrutura de alta capacidade e zonas operacionais dedicadas dentro do porto.

Os portos envolvidos em parques eólicos offshore (OWF) também têm uma responsabilidade significativa em matéria de Saúde e Segurança (HSE) a ser considerada. Ao manusear estruturas tão enormes em quantidades tão grandes, a segurança deve ser primordial. O resultado disso é que as instalações de construção e os pátios de OWF devem ser isolados das áreas operacionais gerais ou áreas públicas para garantir a operação segura dessas instalações. Isso significa que as áreas devem ser reservadas exclusivamente para a construção de OWF durante o período das operações planejadas, e os operadores portuários devem estar preparados para implementar os requisitos relevantes de HSE de acordo com isso.

2.5.2 Requisitos para portos de O&M

As fases de Operação e Manutenção (O&M) impõem requisitos contínuos aos portos de construção de parques eólicos offshore. Além da construção inicial, esses portos devem dar suporte ao tráfego regular de embarcações de manutenção, ao armazenamento de peças de reposição e à disponibilização de equipamentos de reparo. Os protocolos de segurança têm se tornado cada vez mais importantes para proteger ativos valiosos e garantir o acesso seguro do pessoal. Restrições operacionais, como regulamentações de proteção ambiental e limites de ruído, podem afetar a disponibilidade e as atividades portuárias, exigindo planejamento proativo e envolvimento das partes interessadas. Além disso, portos com acesso multimodal eficaz podem otimizar o transporte de equipes e equipamentos de manutenção, reduzindo o tempo de inatividade e melhorando a eficiência operacional.

2.5.3 Conclusões

Em resumo, os portos de construção para energia eólica offshore devem equilibrar um conjunto diversificado de requisitos que abrangem a produtividade de fabricação, a capacidade de manobra e o suporte sustentado de operação e manutenção (O&M). Parâmetros-chave de infraestrutura — comprimento e resistência do cais, área de armazenamento, calado, acesso náutico, capacidade de carga pesada, disponibilidade de terreno, restrições operacionais, segurança e conectividade multimodal — definem coletivamente a adequação de um porto. Essas necessidades de alto nível constituem a base direta para os critérios de triagem quantificados apresentados na Tabela 3-1 do Capítulo 3, que traduz cada um desses requisitos qualitativos em limites mensuráveis tanto para os cenários de desenvolvimento em alto mar quanto para os de litoral próximo. A Tabela 3-1 serve como referência principal para o processo de triagem de portos, com etapas sucessivas de

triagem baseadas em subconjuntos relevantes desses critérios à medida que a avaliação se torna progressivamente mais detalhada.

3 Processo de triagem portuária

3.1 Introdução

Este capítulo descreve a metodologia de triagem estruturada aplicada para identificar uma lista restrita de seis portos brasileiros para avaliação detalhada. O processo foi concebido para ser sistemático e replicável, reduzindo progressivamente um banco de dados nacional de 43 portos (Governo do Brasil, 2026) até os seis candidatos que melhor combinam adequação espacial, prontidão técnica e potencial estratégico para a construção de parques eólicos offshore nas três regiões costeiras do Brasil — Nordeste, Sudeste e Sul.

A triagem combinou critérios qualitativos e quantitativos e foi apoiada por uma extensa análise de SIG (Sistema de Informação Geográfica). O mapeamento SIG permitiu a integração de múltiplos conjuntos de dados, incluindo zonas espaciais de desenvolvimento de energia eólica offshore, distribuição da velocidade do vento, dados batimétricos e características portuárias, proporcionando assim uma compreensão clara de como as condições regionais interagem com as áreas potenciais para projetos de energia eólica offshore e as instalações portuárias disponíveis. Com base na experiência da COWI em avaliações técnicas portuárias e análises de locais para energia eólica offshore, esses conjuntos de dados foram interpretados para permitir a identificação precoce de restrições espaciais e oportunidades relevantes para a seleção de portos.

A seleção foi iniciada utilizando um banco de dados consolidado de 43 portos existentes (mostrados na figura abaixo). O fluxo de trabalho de triagem consistiu em cinco etapas sequenciais de refinamento, cada uma aplicando critérios de avaliação progressivamente mais detalhados. Ao longo do processo, os portos foram analisados com base em considerações definidas de aceitação ou rejeição, bem como em fatores contextuais.

Em casos específicos, os portos foram mantidos para análise posterior mesmo quando critérios individuais não fossem totalmente atendidos, caso a relevância estratégica ou fatores atenuantes identificados justificassem a inclusão contínua. Por outro lado, os portos que atendessem nominalmente a critérios individuais em uma etapa anterior não tinham automaticamente garantida a progressão. A triagem aplicou um julgamento cada vez mais holístico à medida que avançava: um porto poderia satisfazer um único critério isoladamente, como distância ou disponibilidade básica de terreno, ao mesmo tempo em que apresentasse uma combinação de limitações que, em conjunto, tornassem a progressão injustificável. As tabelas de exclusão no final de cada etapa devem, portanto, ser interpretadas como refletindo uma avaliação geral naquele estágio do processo, e não como a aplicação de um único limite de desqualificação.



Figura 3-1 Localização de todos os portos do Brasil. Os portos marcados com * são os dois portos em desenvolvimento identificados posteriormente no processo de seleção e adicionados aqui para completar o quadro.

A redução progressiva da base de dados inicial até a lista final de candidatos, ou seja, de 43 portos para 34, depois para 18, 12 e, por fim, seis, é ilustrada na Figura 3-2. Cada etapa de refinamento e seu processo subjacente são descritos nas seções a seguir.

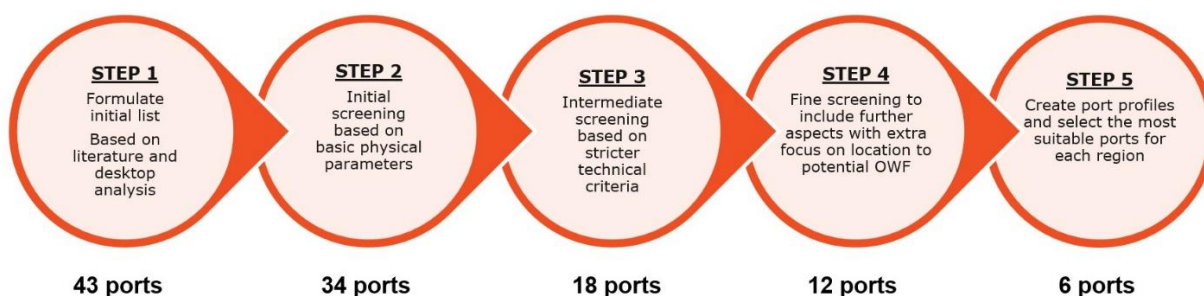


Figura 3-2 : Visão geral do processo de seleção em etapas

Etapa 1 – Banco de dados da lista de portos: Uma lista inicial de portos foi elaborada com base na literatura disponível, em pesquisas de mercado e em contribuições de partes interessadas locais. O banco de dados consistia em 43 portos existentes e incluía locais potenciais para novos empreendimentos (greenfield) que haviam sido destacados em estudos anteriores ou sinalizados durante o envolvimento das partes interessadas.

Etapa 2 – Triagem preliminar: Foi realizada uma filtragem de primeiro nível para identificar portos com limitações físicas fundamentais que restringiriam sua capacidade de acomodar embarcações relacionadas à energia eólica offshore. Os principais critérios analisados nesta etapa incluíram (mas não se limitaram a) profundidade do canal, profundidade e comprimento dos berços, restrições de navegação e restrições físicas, como alturas livres verticais ou barreiras estruturais.

Etapa 3 – Triagem intermediária: Os portos que passaram na etapa preliminar foram avaliados mais detalhadamente utilizando critérios mais refinados, focados em navegação e acesso, área disponível no pátio e ocupação atual dos berços e terminais. Paralelamente, as distâncias e rotas de acesso às áreas propostas para o desenvolvimento eólico offshore foram avaliadas para garantir o alinhamento com os limites mínimos de viabilidade.

Etapa 4 – Seleção detalhada: Os resultados intermediários foram ainda mais refinados para identificar os 12 portos que melhor atendiam aos parâmetros recomendados nas três regiões estratégicas (Nordeste, Sudeste e Sul). Essa seleção refletiu os portos que representam as oportunidades mais promissoras com base nas informações atuais. Os planos diretores portuários, as estratégias de desenvolvimento e os documentos de planejamento disponíveis ao público desempenharam um papel importante nesta etapa. É importante observar que vários portos excluídos nesta fase haviam, nominalmente, atendido aos critérios da Etapa 3 em parâmetros individuais. Sua exclusão na Etapa 4 reflete uma análise mais detalhada e integrada das restrições combinadas — incluindo níveis de ocupação, potencial de expansão, distância e alinhamento estratégico avaliados em conjunto —, em vez da identificação de um único novo critério de desqualificação.

Etapa 5 – Seleção Final: Para os portos pré-selecionados, foram elaborados perfis detalhados a fim de comparar os portos entre si e orientar a seleção final dos portos mais adequados para construção em cada região. Esta etapa incorporou múltiplos envolvimento com as partes interessadas, incluindo Solicitações de Informações (RFIs) enviadas às autoridades portuárias, comunicações de acompanhamento direcionadas e visitas ao local para validar os dados disponíveis. O alinhamento com a DEA, o MPOR e o Ministério da Energia foi incorporado ao longo desta fase. Entre a Etapa 4 e a Etapa 5, dois projetos adicionais de desenvolvimento portuário, a saber, Piauí e Rio Grande do Norte, foram mencionados durante as discussões com as partes interessadas.

3.1.1 Como os critérios de triagem foram desenvolvidos

A Tabela 3-1 abaixo apresenta a matriz completa de critérios de referência para a triagem de portos de construção. Os parâmetros são derivados diretamente dos requisitos qualitativos dos

portos estabelecidos na Seção 2.5 e quantificam esses requisitos como limites mensuráveis, calibrados de acordo com os dois cenários de desenvolvimento definidos no Capítulo 1, a saber, Large Offshore e Nearshore. Os critérios foram desenvolvidos a partir de três fontes, com base na ampla experiência da COWI, incluindo estudos portuários anteriores encomendados pela DEA no Vietnã (DEA, COWI, 2024) e na Índia (DEA, COWI, 2022) :

- **Análise das operações:** Os critérios portuários foram definidos por meio da análise dos requisitos logísticos e operacionais das atividades de agrupamento, instalação e operação e manutenção (O&M) de energia eólica offshore, conforme descrito no Capítulo 2. Critérios distintos foram estabelecidos para os cenários de desenvolvimento “Nearshore” e “Large Offshore”, definidos na Seção 1.4.
- **Análise dos portos eólicos offshore existentes:** Foi compilado um catálogo não exaustivo dos portos europeus que atualmente atendem ao setor eólico offshore, o qual foi utilizado para verificar e calibrar os valores-limite preliminares em relação a referências operacionais.
- **Perspectiva de mercado:** Com base em estudos anteriores da COWI e da DEA e no envolvimento direto com especialistas do setor, foram incorporadas percepções sobre as atividades portuárias relacionadas à fabricação, carga e descarga de energia eólica offshore, logística da cadeia de suprimentos e requisitos de navegação, incluindo perspectivas sobre as implicações de turbinas de mais de 15 MW para a infraestrutura portuária.

A Tabela 3-1 serve como referência principal para todo o processo de triagem. Cada etapa da triagem aplica um subconjunto definido desses critérios, extraídos para tabelas específicas de cada etapa, à medida que a avaliação avança de uma filtragem ampla do tipo “aprovado/reprovado” para uma avaliação comparativa detalhada. A matriz completa de critérios é apresentada abaixo.

Tabela 3-1 Critérios para portos de construção com fixação no fundo

	Property	Unit	Minimum Req.	Recommended Req.	Minimum Req. for Nearshore
Location & harbour	Distance to OWF	[km]	<400	<200	<200
	Harbour entrance width	[m]	160	200	120
	Channel depth	[m LAT]	9	> 12.5	8
	Access channel width ⁽¹⁾	[m]	200	> 200	160
	Presence of lock/gate	[y/n]	Not Acceptable		
	Vertical clearance	[m]	Unrestricted		
	Turning circle	[m]	240	400	200
Berth & yard	Berth length	[m]	220	400-500	180
	Depth at berth	[m LAT]	8	> 12	6
	UDL load capacity	[t/m ²]	7.5	10-15	5
	Seabed	[y/n]	Strengthened		
	Yard area ³	[ha]	20-25	30-40	15-20

(1) To be assessed on a case-by-case basis depending on access channel properties
(2) Yard Area for Large OWF size of 500 MW (min.) to 1 GW (max), constructed either using 10 MW WTG (min. requirements) or 20 MW WTG (recommended requirements). Yard Area for Nearshore OWF size of 200 MW (min) to 250 MW (max), constructed using 6 MW (min. requirement).
(3) Lower value range based on “Just in time delivery”, Upper value range based on all OW components stored in the port

O apêndice fornece uma visão geral do processo de seleção dos Portos de Construção e uma lista dos portos selecionados nas diversas etapas.

3.1.2 Contexto portuário brasileiro

A atual infraestrutura portuária no Brasil atende principalmente ao setor de petróleo e gás e ao manuseio de granéis finos — especialmente produtos agrícolas como arroz, grãos e soja, além de um importante setor de terminais de contêineres. Essa especialização moldou o projeto e os layouts operacionais de muitos portos. Inúmeras instalações portuárias brasileiras dependem de molhes ou estruturas de carregamento offshore que se estendem para o mar, em vez de operações convencionais em cais, facilitando a transferência de cargas a granel por meio de dutos, esteiras transportadoras e bóias de carregamento offshore — um arranjo que difere substancialmente dos requisitos logísticos das atividades de energia eólica offshore. Além disso, os terminais dedicados a operações de granéis muitas vezes carecem de amplos pátios de armazenamento contíguos diretamente conectados à orla: cargas a granel exigem área de armazenamento temporário relativamente limitada, enquanto a construção de parques eólicos offshore depende de extensas áreas de apoio reforçadas para armazenamento e manuseio de pás longas, monopilares de grande diâmetro, seções de torre e naceles. A conversão dessas instalações para atender à energia eólica offshore não é, portanto, uma simples modernização de infraestrutura, mas requer um repensar fundamental de como um terminal opera, desde o projeto do pavimento e a provisão de guindastes até a logística de acesso e o zoneamento de HSE.

Apesar do extenso litoral do Brasil, o número de grandes portos capazes de acomodar WTIVs ou grandes navios de carga pesada adequados para projetos próximos à costa e em alto mar continua limitado. Isso impõe restrições ao desenvolvimento oportuno e econômico de portos capazes de apoiar atividades eólicas offshore, particularmente durante a fase de construção, que é logisticamente intensiva e altamente dependente de infraestrutura portuária especializada.

Diante dessas considerações, os terminais de contêineres e de carga geral surgem como os análogos existentes mais próximos do que as operações eólicas offshore exigem. Sua infraestrutura, como berços mais profundos, maior capacidade de pavimentação, guindastes maiores e layouts de pátio mais organizados, tende a se alinhar mais estreitamente às necessidades logísticas da energia eólica offshore. Esses terminais são, portanto, mais propensos a apresentar sinergias com as atividades eólicas offshore, embora frequentemente enfrentem altos níveis de tráfego operacional.

Isso destaca a importância de estabelecer uma coordenação estratégica com proprietários e operadores portuários e de levar em conta os modelos de propriedade e de negócios existentes. Será necessária uma colaboração eficaz para garantir que os requisitos de construção da energia eólica offshore possam ser atendidos sem interromper significativamente as operações portuárias atuais e, potencialmente, para facilitar a transição de terminais selecionados para desempenhar funções duplas, incluindo futuras funções de O&M.

3.1.3 Considerações sobre a seleção de portos para O&M

O processo de triagem neste estudo concentra-se principalmente nos requisitos de adequação dos portos de construção, tais como distância aos parques eólicos offshore propostos, capacidade de atracação e área de pátio disponível. Para os portos de O&M, esses requisitos físicos, particularmente o comprimento do cais e a área de pátio, são significativamente menos exigentes em comparação com os dos portos de construção (ver tabela abaixo). No entanto, a distância de trânsito entre o porto de O&M e o parque eólico associado torna-se um parâmetro crítico, já que as atividades de O&M geralmente exigem viagens diárias de ida e volta para técnicos e equipes de serviço.

Tabela 3-2 Critérios para portos de O&M

			CTV ⁽²⁾	SOV	
	Propriedade	Unidade	Requisito mínimo	Requisito mínimo	Requisito recomendado
Localização e porto	Distância até o parque eólico offshore	[km]	<100	<200	<100
	Largura da entrada do porto	[m]	>15	20–25	0,8-1 comprimento total
					(LOA = comprimento total)
	Profundidade do canal	[m LAT]	>4	6-7	> 9
	Largura do canal de acesso ⁽¹⁾	[m]	-	55	>55
	Presença de eclusa/portão	[s/n]	tolerável	Inaceitável	
	Altura livre	[m]	> 10	>40	>75 ou sem restrições
Berço e pátio	Raio de giro	[m]	40	100–150	>200
	Comprimento do berço	[m]	-	90-100	1,25–1,5 LOA
	Profundidade no berço	[m LAT]	>4	6-7	>7
	Área construída	[m²]	-	300	300
	Oficina	[m²]	-	700	700
Outros	Área do pátio	[ha]	0,75	0,75–1,5	1,5
	Interior	[s/n]	s	Y	s
	Mão de obra local qualificada	[s/n]	y	y	y
	Custo de autorizações/licenças	[-]	-	-	-
	Possibilidade de alugar infraestrutura ou equipamentos existentes	[s/n]	s	s	s

(1) A ser avaliado caso a caso, dependendo das características do canal de acesso

(2) Para informação. Se as portos de O&M utilizarem tanto SOVs quanto CTVs, os requisitos mínimos de distância do parque eólico offshore para CTVs devem ser respeitados.

Considerando que as áreas propostas para parques eólicos offshore estão amplamente distribuídas ao longo das três regiões estratégicas do litoral brasileiro, é difícil, nesta fase, identificar portos específicos que sejam universalmente adequados para atividades de O&M em todos os empreendimentos. A seleção de um porto dedicado a O&M vincularia, portanto, esse porto a apenas um número limitado de parques eólicos próximos, dependendo dos tempos de trânsito das embarcações e dos requisitos de eficiência operacional.

Além disso, o setor eólico offshore do Brasil ainda se encontra em uma fase inicial de pré-desenvolvimento, o que significa que a necessidade de instalações de O&M só surgirá vários anos após o início das atividades iniciais de construção. O foco permaneceu, portanto, na identificação

dos portos mais capazes de dar suporte à fase de construção, que apresenta os requisitos de infraestrutura mais exigentes.

Devido à falta de locais confirmados para os parques eólicos offshore propostos e aos requisitos muito específicos dos portos de O&M em termos de localização e acesso a eles, não foi realizada uma análise separada e dedicada aos portos para as atividades de O&M. No entanto, os portos pré-selecionados na etapa final de seleção incluem, naturalmente, aqueles localizados mais próximos das principais zonas de desenvolvimento eólico offshore propostas. Consequentemente, esses portos satisfazem, por natureza, o parâmetro de localização que é mais crítico para futuras operações de O&M.

Portanto, embora a ênfase principal da análise esteja na adequação para a construção, os portos selecionados finais também são avaliados em termos de seu potencial indicativo para atender às futuras necessidades de O&M, sem fazer suposições sobre quais áreas específicas de parques eólicos serão desenvolvidas primeiro.

3.2 Etapa 1 – Banco de dados da lista de portos

A primeira etapa do processo de seleção consistiu em mapear a infraestrutura portuária existente e os planos de desenvolvimento relevantes para a energia eólica offshore ao longo do litoral brasileiro. Isso foi realizado por meio da criação de um banco de dados abrangente das instalações portuárias existentes e planejadas, que constitui a base de todo o processo de triagem.

A lista inicial de 43 portos baseou-se em:

- Estudos e literatura existentes (consulte 1.3 para obter a lista completa)
- Análise documental por meio do Google Earth e de fontes online disponíveis ao público
- Planos Diretores Portuários individuais publicados pelo MPOR no portal unificado do Governo Federal (Governo do Brasil, 2026)

Os Planos Diretores Portuários fornecem informações detalhadas sobre as condições atuais e a direção estratégica de cada porto. Esses planos delineiam os limites da Área Portuária Organizada, descrevem as principais dimensões do porto, especificam as características do canal de acesso e resumem a infraestrutura de armazenamento e movimentação. Eles também oferecem insights sobre a visão de desenvolvimento de longo prazo de cada porto e as áreas de expansão previstas.

No entanto, muitos planos foram atualizados pela última vez há vários anos — alguns até em 2018 — e não refletem necessariamente as condições atuais do mercado, os investimentos recentes ou as melhorias em andamento. Por isso, foram realizadas pesquisas complementares e consultas às partes interessadas para garantir que o banco de dados reflita a situação atual.

É importante ressaltar que nenhum dos Planos Diretores Portuários analisados incluiu medidas de desenvolvimento ou melhorias de infraestrutura planejadas especificamente para atividades de energia eólica offshore. Isso é consistente com o estágio inicial de pré-desenvolvimento do setor de energia eólica offshore do Brasil e ressalta a natureza prospectiva desta avaliação. Portos designados para operações multifuncionais ou de carga geral foram considerados como candidatos potenciais com base em suas características de infraestrutura mais flexíveis.

Uma visão geral de todos os portos pode ser encontrada no Apêndice 1, onde todos os portos estão listados com suas principais características destacadas.

3.3 Etapa 2 – Triagem preliminar

3.3.1 Critérios de triagem

Esta etapa inicial envolveu uma filtragem preliminar dos portos brasileiros com base em parâmetros físicos essenciais para identificar aqueles com capacidade fundamental para apoiar atividades relacionadas à energia eólica offshore. Essa triagem concentrou-se em fatores-chave que afetam o acesso de embarcações, a saber: comprimento, calado e altura livre, além da disponibilidade de espaço de armazenamento suficiente. Essa abordagem teve como objetivo eliminar portos que claramente não atendem aos requisitos operacionais básicos antes de prosseguir para uma avaliação mais detalhada.

Para serem aprovados nessa triagem preliminar, os portos precisavam atender a todos os quatro critérios essenciais a seguir:

- **Comprimento e calado de projeto** suficientes para acomodar as embarcações relevantes
- **Largura do canal** suficiente para atender às necessidades de acesso e manobra das embarcações
- **Ausência de restrições de altura livre**, como pontes ou viadutos estruturais que limitem o calado aéreo das embarcações
- **Disponibilidade de pelo menos 20 hectares de área utilizável dentro da Área Portuária Organizada**, o que poderia incluir pátios de armazenamento a céu aberto, armazéns, silos, zonas de tanques ou outras áreas subutilizadas ou vagas que pudessem ser viavelmente reaproveitadas. *

**Selecionado para garantir compatibilidade com ambas as vertentes de desenvolvimento consideradas neste estudo: projetos próximos à costa e grandes projetos offshore.*

Paralelamente, os Planos Diretores Portuários individuais foram analisados para identificar e excluir portos totalmente inadequados para atividades de energia eólica offshore. Isso incluiu, por exemplo, portos em lagoas com canais de acesso restritivos e instalações sem áreas viáveis à beira-mar. Tais portos foram excluídos de considerações posteriores devido a limitações fundamentais que não podem ser viavelmente superadas no contexto da energia eólica offshore.

Os portos que não atendiam a nenhum dos parâmetros mínimos descritos acima foram descartados nesta etapa. Nesta fase inicial de triagem, o limite para instalações de armazenamento não se referia exclusivamente às áreas de depósito existentes, mas sim à área total potencialmente disponível dentro dos limites do porto. Os critérios utilizados para a avaliação dos portos de instalação e construção durante esta triagem preliminar estão resumidos na Tabela 3-1 que se baseia na matriz abrangente de critérios em Tabela 3-1, com os parâmetros relevantes destacados para indicar sua aplicação nesta etapa.

Tabela 3-3 Visão geral dos critérios utilizados na triagem preliminar, Etapa 2, para portos de instalação/construção

	Propriedade	Unidade	Requisito mínimo	Requisito recomendado	Flexibilizações para áreas próximas à costa
Localização e porto	Altura livre	[m]	Sem restrições		
	Largura do canal de acesso ⁽¹⁾	[m]	200	> 200	160
Berço e pátio	Comprimento do berço	[m]	200	400-500	-
	Profundidade no berço	[m LAT]	8	> 12	6

Área do pátio	[ha]	20-25	30-40	15-30
---------------	------	-------	-------	-------

(1) A ser avaliado caso a caso, dependendo das características do canal de acesso

3.3.2 Resultados da triagem preliminar

A aplicação dos critérios de triagem preliminar resultou na redução do banco de dados inicial de 43 portos para um total de 34 portos adequados para avaliação posterior. Os portos que não atendiam a um ou mais dos requisitos mínimos descritos na Seção 3.3.1 foram excluídos. Uma visão geral dos portos selecionados e excluídos está disponível na tabela abaixo.

Os 34 portos que avançaram para a próxima etapa representam instalações com as características físicas fundamentais e as configurações de local necessárias para dar suporte à logística eólica offshore, tanto para projetos em águas rasas quanto para grandes projetos em alto mar. Esses portos constituem a base para a triagem intermediária descrita na Seção 3.4.

Tabela 3-4 Visão geral dos portos pré-selecionados na Etapa 2 – Triagem Preliminar

Portos pré-selecionados	
Santana (Norte)	Terminal Marítimo de Praia Mole, Terminal de Praia Mole e Terminal Tubarão (Sudeste)
Vila do Conde (Norte)	Vitória (Sudeste)
Belém (Norte)	Terminal Marítimo - Ponta Ubu (Sudeste)
Itaqui (Nordeste)	Rio de Janeiro (Sudeste)
Pecém (Nordeste)	Itaguaí (Sudeste)
Fortaleza (Nordeste)	TUP Brasfels (Sudeste)
Cabedelo (Nordeste)	Angra dos Reis (Sudeste)
Recife (Nordeste)	São Sebastião (Sudeste)
Suapé (Nordeste)	Santos (Sudeste)
Maceió (Nordeste)	Antonina (Sul)
Aratu (Nordeste)	Paranaguá (Sul)
Salvador (Nordeste)	Itapoá (Sul)
Ilhéus (Nordeste)	São Francisco do Sul (Sul)
Barra do Riacho (Sudeste)	Itajaí (Sul)
TUP Imetame (Sudeste)	Imbituba (Sul)
Estaleiro Jurong (Sudeste)	Rio Grande (Sul)
Porto Central (Sudeste)	
Açu (Sudeste)	

Tabela 3-5 Visão geral dos portos excluídos na Etapa 2 – Triagem preliminar

Portos desclassificados	Comentário
Areia Branca (Nordeste)	Terminal de propriedade privada localizado em alto mar, dedicado exclusivamente ao mercado de sal marinho. O terminal apresenta restrições de calado devido às águas rasas e não atende aos requisitos de área de armazenamento.
Natal (Nordeste)	O porto não atende aos requisitos de altura livre devido à ponte que atravessa o canal de acesso. Além disso, o espaço de armazenamento

Portos desclassificados	Comentário
	disponível é muito limitado, assim como o espaço para novos empreendimentos.
Sergipe/Terminal – Braskem (Nordeste)	Porto em alto mar dedicado exclusivamente às operações de usinas de energia; o porto não atende aos requisitos de área de armazenamento.
Imbetiba (Sudeste)	Porto de propriedade privada dedicado principalmente a operações de apoio offshore no setor de petróleo e gás. O porto possui restrições de dimensões náuticas e não atende aos requisitos de espaço de armazenamento.
Forno (Sudeste)	Porto dedicado ao mercado de granéis finos. O porto possui restrições de dimensões náuticas e não atende aos requisitos de área de armazenamento.
Niterói (Sudeste)	Dedicado principalmente a operações de apoio offshore. A maioria dos terminais é de propriedade privada e está localizada atrás de uma ponte que atravessa o canal de acesso. Portanto, o porto não atende aos requisitos de altura livre. Além disso, o porto possui restrições de dimensões náuticas e não atende aos requisitos de espaço de armazenamento.
Laguna (Sul)	O porto passou recentemente a fazer parte do porto de Imbituba. É dedicado a atividades pesqueiras. O porto possui restrições de dimensões náuticas.
Porto Alegre (Sul)	Porto fluvial localizado dentro da lagoa. O canal de acesso apresenta restrições de dimensão náutica. Além disso, o espaço de armazenamento disponível é limitado, assim como a capacidade para novos empreendimentos.
Pelotas (Sul)	Porto fluvial localizado dentro da lagoa. O canal de acesso apresenta restrições às dimensões náuticas. Além disso, o espaço de armazenamento disponível é limitado, assim como a capacidade para novos empreendimentos.

3.4 Etapa 3 – Triagem Intermediária

3.4.1 Critérios de triagem intermediária

A triagem intermediária representou a etapa de avaliação mais abrangente em todo o processo de seleção. Nessa fase, a lista de portos já havia sido reduzida aos candidatos com as características físicas fundamentais para atividades de energia eólica offshore. O objetivo dessa etapa foi realizar uma avaliação mais detalhada e qualitativa de cada porto, utilizando os Planos Diretores Portuários disponíveis, imagens de satélite de alta resolução (Google Earth) e documentos de planejamento de acesso público. Isso permitiu uma avaliação mais completa da adequação dos portos, a longo prazo, para a construção de parques eólicos offshore.

Foram aplicados três critérios principais:

1. **Proximidade de locais potenciais para parques eólicos offshore:** Um critério-chave nesta etapa foi a proximidade de cada porto aos locais propostos para parques eólicos offshore, avaliada especificamente no nível de cada local individual, em vez de em agrupamentos mais amplos (Nordeste, Sudeste e Sul). Isso foi complementado por uma avaliação da proximidade a regiões com condições favoráveis de recursos eólicos que

também se sobrepõem a profundidades de água viáveis para o desenvolvimento de energia eólica offshore. A intenção era garantir que os portos que avançassem além dessa etapa estivessem localizados próximos a áreas com potencial para o desenvolvimento eólico offshore, quer já incluídas na lista de licenciamento do IBAMA, quer decorrentes de atividades futuras do mercado. A análise SIG desempenhou um papel central na combinação da distribuição da velocidade do vento, da batimetria e dos limites espaciais dos locais para determinar se cada porto se enquadrava em uma faixa operacional adequada para apoiar um único local eólico offshore realisticamente desenvolvível.

2. **Disponibilidade de terrenos e potencial de expansão:** Além da distância, a disponibilidade de terrenos para expansão foi um fator decisivo. Portos com áreas terrestres mínimas ou fragmentadas, ou aqueles limitados pelo desenvolvimento urbano circundante ou por áreas de proteção ambiental, foram considerados inadequados para acomodar o espaço operacional significativo necessário para o manuseio de cargas pesadas exigido pela logística da energia eólica offshore. Portanto, os portos que demonstraram um potencial tão limitado para desenvolvimento espacial adicional foram, assim, excluídos nesta etapa.
3. **Alinhamento estratégico e flexibilidade operacional:** Além disso, aspectos qualitativos constituíram parte integrante da Triagem Intermediária. Entre eles estavam o alinhamento estratégico de cada porto, seu perfil operacional atual (incluindo a infraestrutura existente) e sua potencial abertura à diversificação. Portos fortemente focados em segmentos de mercado existentes, particularmente aqueles com altas taxas de ocupação ou contratos de arrendamento de longo prazo totalmente comprometidos com clientes industriais atuais, foram considerados menos propensos a oferecer capacidade de atracação disponível ou flexibilidade operacional para atividades de energia eólica offshore dentro de um prazo realista (2032-2035). Da mesma forma, portos cujos planos estratégicos não indicavam qualquer intenção de expansão para novos mercados, incluindo setores relacionados à energia, foram considerados como tendo potencial limitado para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore.

Em conjunto, esses critérios permitiram a identificação de portos que não apenas atendem aos requisitos físicos mínimos, mas também demonstram características espaciais, operacionais e estratégicas compatíveis com o apoio à construção de parques eólicos offshore no médio a longo prazo.

Tabela 3-6 Visão geral dos critérios utilizados na triagem intermediária, Etapa 3, para portos de instalação/construção

	Propriedade	Unidade	Requisito mínimo	Requisito recomendado	Flexibilizações para o Nearshore
Parâmetros-chave para a triagem intermediária	Distância até o parque eólico offshore	[km]	<400	<200	<200
	Alinhamento estratégico do porto com a energia eólica offshore	[-]	Avaliação da disposição para expandir para novas áreas e, especificamente, para a energia eólica offshore		
	Área disponível no estaleiro	[ha]	20-25	30-40	15-30
	Potencial de expansão	[-]	Avaliação das limitações (áreas urbanas, áreas protegidas, limites portuários)		

3.4.2 Resultados da triagem intermediária

A aplicação dos critérios da triagem intermediária reduziu ainda mais a lista de portos candidatos de 34 para 18 portos adequados para avançar para a triagem detalhada (conforme resumido na tabela abaixo). As figuras no apêndice fornecem uma visão geral mais detalhada dos fatores espaciais que influenciam as decisões de exclusão.

Portos localizados a distâncias que excedem significativamente o limite de 400 km do local de parque eólico offshore (PEO) mais próximo foram considerados geograficamente incompatíveis com o futuro desenvolvimento eólico offshore. Por exemplo, Santana, Vila do Conde e Belém, no Norte, estão situados muito além da distância aceitável em relação ao local de PEO mais próximo no Nordeste. Embora esses portos estejam localizados próximos a zonas de águas rasas, suas áreas de ZEE circundantes apresentam velocidades médias de vento muito baixas, indicando potencial limitado para o desenvolvimento eólico offshore, independentemente da adequação da profundidade.

Um padrão semelhante se aplica a Salvador, Aratu e Ilhéus. Esses portos estão bem além das distâncias operacionais viáveis para os empreendimentos propostos ao longo da costa sudeste. Além disso, as áreas offshore adjacentes são caracterizadas por águas extremamente profundas, o que, combinado com baixas velocidades médias anuais do vento, comprova, coletivamente, um potencial eólico offshore mínimo dentro de seu raio de ação.

A mesma combinação de fatores limitantes é observada para Itapoá e São Francisco do Sul, no Sul. Embora esses portos tenham capacidade para uso geral, sua distância até a região Sul proposta excede o limite, e as áreas circundantes apresentam condições desfavoráveis de recursos eólicos, com baixas velocidades médias anuais do vento.

Em todos os casos, os portos que não satisfizeram o critério de localização ainda foram avaliados qualitativamente para determinar se fatores estratégicos ou operacionais excepcionais poderiam permitir o avanço para a próxima etapa e provar o contrário. No entanto, esses portos também ficaram aquém em termos de sua adequação mais ampla para a energia eólica offshore, confirmando que sua exclusão não se baseou exclusivamente em restrições de proximidade.

Para os portos restantes que satisfizeram os requisitos de localização, foram aplicados os critérios de avaliação qualitativa descritos na Seção 3.4.1. Os portos cujas instalações disponíveis estão inteiramente comprometidas com operações industriais existentes foram excluídos de considerações posteriores devido à falta de flexibilidade operacional. Muitos desses portos também apresentavam altos níveis de ocupação, contratos de arrendamento de longo prazo ou estratégias de expansão dedicadas exclusivamente a atender bases de clientes já estabelecidas, limitando seu potencial para acomodar novas atividades de energia eólica offshore.

Na região Nordeste, os portos de Cabedelo e Maceió ultrapassaram o limite inicial de distância, mas foram excluídos devido ao espaço muito limitado para um desenvolvimento significativo.

Na região Sudeste, vários portos foram excluídos com base em uma combinação de orientação estratégica e restrições físicas:

- Estaleiro Jurong e Praia Mole foram excluídos, pois ambos os portos permanecem fortemente orientados para sua base de clientes industriais existente, com áreas operacionais que não indicam diversificação para mercados energéticos emergentes em um futuro previsível.
- Vitória foi excluída devido à sua taxa de ocupação muito alta, aos compromissos de atracação de longo prazo e à presença de uma limitação de calado que restringe o acesso de grandes embarcações de instalação de energia eólica offshore.
- Ponta Ubu apresenta características semelhantes às de Praia Mole, com operações voltadas para o apoio às cadeias de suprimentos industriais existentes e um alinhamento estratégico limitado com a energia eólica offshore.

- A TUP Brasfels foi excluída devido à falta de área disponível para expansão e ao fato de seu modelo operacional estar intimamente ligado a atividades relacionadas a estaleiros, o que limita a flexibilidade espacial.
- Angra dos Reis, embora geograficamente próxima a certos locais de parques eólicos offshore no Sudeste, exigiria uma expansão portuária substancial para atender aos requisitos de construção de parques eólicos offshore, além de enfrentar limitações de calado que restringem o acesso de grandes embarcações de instalação.

Coletivamente, essas exclusões refletem uma combinação de restrições espaciais, incompatibilidades estratégicas e limitações físicas que, quando avaliadas de forma holística, levam a que esses portos sejam inadequados para avançar para a Seleção Aprofundada.

Os 18 portos resultantes representam aqueles que demonstram:

- proximidade viável a locais de parques eólicos offshore realisticamente desenvolvíveis,
- condições eólicas e batimétricas adequadas em suas zonas marítimas circundantes, e
- características espaciais, operacionais e estratégicas adequadas para futuras atividades de construção de parques eólicos offshore.

Esses portos constituem a base para a Seleção Aprofundada apresentada na Seção 3.5.

Tabela 3-7 Visão geral dos portos pré-selecionados na Etapa 3 – Triagem Intermediária

Portos pré-selecionados	
Pecém (Nordeste)	São Sebastião (Sudeste)
Fortaleza (Nordeste)	Santos (Sudeste)
Recife (Nordeste)	Antonina (Sul)
Suapé (Nordeste)	Paranaguá (Sul)
Barra do Riacho (Sudeste)	Itajaí (Sul)
TUP Imetame (Sudeste)	Imbituba (Sul)
Porto Central (Sudeste)	Rio Grande (Sul)
Açu (Sudeste)	
Rio de Janeiro (Sudeste)	
Itaguaí (Sudeste)	

Tabela 3-8 Visão geral dos portos desclassificados na Etapa 3 – Triagem intermediária

Portos desclassificados	Comentário
Santana (Norte)	O porto não atende aos requisitos de distância em relação aos locais potenciais para parques eólicos offshore da região Nordeste (distância de aproximadamente 900 km). O porto atende principalmente ao setor agrícola, portanto, apresenta alinhamento estratégico limitado com as atividades de energia eólica offshore.
Vila do Conde (Norte)	O porto não atende aos requisitos de distância em relação a locais potenciais para parques eólicos offshore (OWF) da região Nordeste (distância > 700 km). O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo granéis sólidos, carga geral e granéis líquidos, utilizando principalmente estruturas de molhes. Isso representa uma possível restrição, portanto, o alinhamento estratégico com as atividades de energia eólica offshore é limitado.
Belém (Norte)	O porto não atende à distância necessária para locais potenciais de parques eólicos offshore na região Nordeste (distância > 700 km).
Cabedelo (Nordeste)	A localização do porto torna-o adequado apenas para atender aos locais potenciais de parques eólicos offshore situados a leste da

Portos desclassificados	Comentário
	região Nordeste (distância ~ 300 km). O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo contêineres, granéis sólidos, granéis líquidos e um terminal de passageiros. Consequentemente, a capacidade de armazenamento disponível é limitada devido à alta taxa de ocupação. Além disso, possui espaço limitado para expansão.
Maceió (Nordeste)	A localização do porto torna-o adequado apenas para atender aos locais potenciais de parques eólicos offshore (PEO) situados a leste da região Nordeste (distância > 500 km). O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo contêineres, granéis sólidos, granéis líquidos e um terminal de passageiros. Como resultado, a capacidade de armazenamento disponível é limitada devido à alta taxa de ocupação. Além disso, possui espaço limitado para expansão.
Aratu (Nordeste)	O porto não atende aos requisitos de distância para os locais potenciais de parques eólicos offshore da região Nordeste (distância > 900 km). Além disso, é fortemente voltado para os setores de granéis sólidos e líquidos; portanto, apresenta alinhamento estratégico limitado com as atividades eólicas offshore.
Salvador (Nordeste)	O porto não atende aos requisitos de distância para locais potenciais de parques eólicos offshore (OWF) da região Nordeste (distância > 900 km). O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo carga geral, contêineres, granéis sólidos e um terminal de passageiros. Como resultado, há espaço limitado disponível no pátio devido à alta taxa de ocupação.
Ilhéus (Nordeste)	O porto não atende aos requisitos de distância para locais potenciais de parques eólicos offshore (OWF) da região Nordeste (distância > 1.000 km).
Estaleiro Jurong (Sudeste)	O Terminal é um estaleiro de propriedade privada que não atende a terceiros. Para atender às necessidades de armazenamento, todo o terminal deveria ser dedicado às atividades de energia eólica offshore. Isso é improvável; portanto, presume-se que o terminal manterá seu foco nos mercados existentes e nas operações do estaleiro.
Terminal - Marítimo de Praia Mole, Terminal de Praia Mole e Terminal Tubarão (Sudeste)	O porto está dividido em diferentes terminais, todos de propriedade privada e dedicados principalmente a apoiar a indústria de mineração. Essa indústria não apresenta sinergias com o setor eólico offshore. Além disso, o porto não dispõe de espaço para uma possível expansão.
Vitória (Sudeste)	O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo apoio offshore, contêineres, carga geral, granéis sólidos e granéis líquidos. Como resultado, o espaço de armazenamento no pátio é limitado devido à alta taxa de ocupação e não há espaço para novas possibilidades de expansão. Além disso, o porto tem restrições de dimensões náuticas e não atende aos requisitos de altura livre devido à presença de uma ponte que atravessa o canal de acesso.
Terminal Marítimo - Ponta Ubu (Sudeste)	Terminal dedicado a apoiar as operações de mineração da mina localizada em terra firme. Esse setor não apresenta sinergias com o setor de transporte marítimo. Além disso, o porto não possui espaço para uma possível expansão.
TUP Brasfels (Sudeste)	A localização do terminal torna-o adequado apenas para atender aos potenciais locais de parques eólicos offshore (OWF) situados a oeste da região sudeste (distância de aproximadamente 300 km). O terminal é um estaleiro de propriedade privada voltado para o setor offshore de petróleo e gás. Para atender às necessidades de armazenamento, todo o terminal deveria ser dedicado às atividades offshore. Isso é improvável; portanto, presume-se que o terminal continuará focado nas operações do estaleiro voltadas para os mercados existentes.
Angra dos Reis (Sudeste)	A localização do porto torna-o adequado apenas para atender aos potenciais locais de parques eólicos offshore (PEO) situados a oeste da região Sudeste (distância de aproximadamente 300 km). O porto é dedicado a operações de carga de apoio offshore para petróleo e gás

Portos desclassificados	Comentário
	e ao manuseio de fluidos de perfuração. O porto apresenta limitações de calado e não atende aos requisitos de área de armazenamento.
Itapoá (Sul)	O porto não atende aos requisitos de distância em relação aos locais potenciais para parques eólicos offshore da região Sul (distância de aproximadamente 300 km). O porto é dedicado à movimentação de contêineres. A infraestrutura existente não é adequada para parques eólicos offshore.
São Francisco do Sul (Sul)	O porto não atende à distância exigida em relação aos locais potenciais para parques eólicos offshore da região S (distância ~ 300 km). O porto atende a uma ampla gama de mercados, incluindo carga geral e granéis sólidos e líquidos. Como resultado, há um pátio de armazenamento limitado disponível devido à alta rotatividade.

3.5 Etapa 4 – Triagem Detalhada

3.5.1 Critérios de triagem refinada

A etapa de triagem refinada representou a primeira avaliação comparativa direta no processo de seleção de portos. Nesta etapa, restaram 18 portos, todos os quais satisfaziam os critérios espaciais, operacionais e estratégicos fundamentais identificados anteriormente. O objetivo da Etapa 4 foi, portanto, aplicar critérios mais comparativos e específicos para cada linha de desenvolvimento (Nearshore e Large Offshore) para distinguir entre portos com adequação básica semelhante e determinar quais instalações deveriam avançar para a Seleção Final.

Dois tipos de critérios foram aplicados em combinação:

- **Avaliação espacial quantitativa:** Um elemento central desta etapa foi uma avaliação refinada da localização dos portos em relação às áreas de alto potencial de desenvolvimento, conforme o IBAMA. Utilizando o modelo SIG, foram geradas zonas tampão baseadas em distâncias ao redor de cada porto para determinar o grau de sobreposição com esses locais. Essa abordagem permitiu uma avaliação mais precisa e específica de cada porto quanto ao seu raio de alcance operacional. As distâncias específicas das zonas tampão e os resultados quantitativos dessa análise são apresentados nas subseções a seguir (ver 3.5.1.1 e 3.5.1.2)
- **Avaliação comparativa técnica e qualitativa:** Além disso, foi realizada uma comparação cruzada entre os portos dentro de cada região estratégica, a saber, Nordeste, Sudeste e Sul. Essa comparação incorporou tanto parâmetros quantitativos, como geometria dos berços, capacidade de armazenamento, profundidade e largura do canal de acesso e características da bacia de manobra, quanto aspectos qualitativos, incluindo o layout geral do porto, a especialização dos terminais, a flexibilidade operacional e a adequação da infraestrutura existente para atividades de carga pesada e pré-montagem. Esses parâmetros foram avaliados de forma consistente utilizando Planos Diretores Portuários, imagens de satélite, documentação pública e contribuições das partes interessadas.

Ao contrário das etapas de triagem anteriores, que filtravam os portos principalmente com base em limites técnicos, a Triagem Aprofundada concentrou-se na diferenciação comparativa. Seu objetivo era identificar portos que não apenas atendessem aos requisitos gerais, mas também demonstrassem desempenho relativo mais sólido, melhor potencial de desenvolvimento ou alinhamento estratégico mais claro para atividades de energia eólica offshore em comparação com outros portos candidatos na mesma região. Essa avaliação comparativa forneceu uma base sólida para reduzir o número de portos candidatos e preparar a etapa de Seleção Final.

Os critérios específicos para cada linha de desenvolvimento de energia eólica offshore — Large Offshore e Nearshore — são apresentados nas Seções 3.5.1.1 e 3.5.1.2, respectivamente.

Tabela 3-9 Visão geral dos critérios utilizados na triagem detalhada (Etapa 3) para portos de instalação/construção

	Característica	Unidade	Requisito mínimo	Requisito recomendado	Flexibilizações para áreas próximas à costa
Localização e porto ⁽¹⁾	Distância até o parque eólico offshore	[km]	<400	<200	<200
	Largura da entrada do porto	[m]	160	200	120
	Profundidade do canal	[m LAT]	9	> 12,5	8
	Largura do canal de acesso	[m]	200	> 200	160
	Presença de eclusa/portão	[s/n]	Inaceitável		
	Altura livre	[m]	Sem restrições		
	Raio de giro	[m]	240	400	200
Berço e pátio ⁽¹⁾	Comprimento do berço	[m]	200	400-500	-
	Profundidade no cais	[m LAT]	8	> 12	6
	Capacidade de carga UDL	[t/m ²]	7,5	10-15	5
	Fundo marinho	[s/n]	Reforçado		
	Área do pátio	[ha]	20-25	30-40	15-30
Parâmetros-chave para a peneiração fina	Alinhamento estratégico do porto com a energia eólica offshore	[-]	Avaliação da abertura à expansão para novas áreas e, especificamente, para a energia eólica offshore		
	Potencial de expansão	[-]	Avaliação das limitações (áreas urbanas, áreas protegidas, limites do porto)		
	Layout do porto e especialização dos terminais	[-]	Avaliação comparativa das instalações existentes e planejadas		

(1) Utilizado como valores de referência para comparação entre portos

3.5.1.1 Critérios para Grandes Portos Offshore

Para o fluxo de Grandes Portos Offshore, foi realizada uma avaliação refinada de compatibilidade espacial utilizando o modelo GIS. Foram geradas zonas tampão baseadas na distância, com um raio de 400 km (Tabela 3-1), ao redor de cada porto para avaliar o grau de sobreposição entre o alcance operacional do porto e os locais individuais de parques eólicos offshore (OWF) dentro de

cada região. Isso garantiu uma avaliação consistente e específica para cada local quanto à adequação da localização. As figuras no Apêndice ilustram esses padrões, mostrando os portos selecionados e excluídos ao lado dos locais propostos para parques eólicos offshore e das zonas tampão de distância aplicadas.

Região Nordeste

A compatibilidade espacial no Nordeste é a seguinte:

- Itaqui apresenta sobreposição parcial com a porção ocidental dos locais de parques eólicos offshore do Nordeste.
- Pecém e Fortaleza apresentam sobreposição total com os locais de parques eólicos offshore do Nordeste.
- Recife e Suape apresentam sobreposição parcial com a parte leste dos locais de OWF do Nordeste.

Esses portos, portanto, atendem ao requisito de localização para o fluxo “Large Offshore” em diferentes graus, dependendo do grau de sobreposição com os locais planejados na região Nordeste.

Região Sudeste

A compatibilidade espacial no Sudeste é a seguinte:

- Barra do Riacho e TUP Imetame apresentam sobreposição parcial com a maioria dos locais dos parques eólicos offshore do Sudeste.
- Porto Central, Açu e Rio de Janeiro apresentam sobreposição total com os locais de parques eólicos offshore do Sudeste.
- Itaguaí apresenta sobreposição parcial com uma parte substancial dos locais do parque eólico offshore do Sudeste.
- São Sebastião apresenta sobreposição apenas com o local de parque eólico offshore mais ao sul do agrupamento do Sudeste.
- Santos não apresenta sobreposição com os locais de parques eólicos offshore (OWF) da região Sudeste.

Esses portos, portanto, atendem ao requisito de localização para o fluxo “Large Offshore” em diferentes graus, dependendo do grau de sobreposição com os locais planejados na região Sudeste.

Região Sul

A compatibilidade espacial na região Sul é a seguinte:

- Antonina e Paranaguá apresentam sobreposição apenas com o local individual de parque eólico offshore mais ao norte do agrupamento do Sul.
- Itajaí apresenta sobreposição parcial com a parte norte dos locais de parques eólicos offshore da região Sul.
- Imbituba apresenta sobreposição parcial com uma parte significativa dos locais de parques eólicos offshore da região Sul, um pouco menos do que a metade norte.
- Rio Grande apresenta sobreposição total com os locais de OWF da região Sul.

Esses portos, portanto, atendem ao requisito de localização para o fluxo “Large Offshore” em diferentes graus, dependendo do grau de sobreposição com os locais planejados na região Sul. A justificativa específica para a exclusão ou seleção dos portos é apresentada na Seção 3.5.2.

3.5.1.2 Critérios para portos próximos à costa

Para o fluxo “Nearshore”, foi realizado o mesmo processo utilizado na avaliação “Large Offshore”. O modelo SIG foi utilizado para gerar zonas tampão baseadas na distância, com um raio de 200 km ao redor de cada porto, a fim de determinar, mais uma vez, o grau de sobreposição espacial com os locais individuais de parques eólicos offshore em cada região. Isso permitiu uma avaliação focada na acessibilidade Nearshore, consistente com as características operacionais dos empreendimentos “Nearshore”.

Região Nordeste

A compatibilidade espacial no Nordeste é a seguinte:

- Itaqui apresenta sobreposição apenas com o local individual de parque eólico offshore (PEO) mais a oeste da região Nordeste.
- Pecém e Fortaleza apresentam sobreposição total com os locais de parques eólicos offshore da Região Nordeste.
- Recife e Suape não apresentam sobreposição com os locais de parques eólicos offshore da região Nordeste.

Região Sudeste

A compatibilidade espacial no Sudeste é a seguinte:

- Barra do Riacho e TUP Imetame apresentam sobreposição parcial com a parte norte dos locais de OWF do Sudeste.
- Porto Central e Açú apresentam sobreposição total com os locais dos parques eólicos offshore do Sudeste.
- O Rio de Janeiro apresenta sobreposição parcial com a parte sul dos locais de parques eólicos offshore do Sudeste.
- Itaguaí e São Sebastião não apresentam sobreposição com os locais dos parques eólicos offshore (OWF) do Sudeste.
- Santos não apresenta sobreposição com os locais dos parques eólicos offshore (PEO) do Sudeste.

Região Sul

A compatibilidade espacial na região Sul é a seguinte:

- Antonina, Paranaguá e Itajaí não apresentam sobreposição com os locais dos parques eólicos offshore da região Sul.
- Imbituba apresenta sobreposição parcial com a parte norte dos locais dos parques eólicos offshore da região Sul.
- Rio Grande apresenta sobreposição total com os locais de parques eólicos offshore da região Sul.

Ao correlacionar esses resultados com a avaliação espacial de grandes projetos offshore, fica evidente que certos portos se destacam principalmente como opções viáveis para grandes empreendimentos offshore, ao mesmo tempo em que apresentam mais limitações para projetos nearshore devido à sua sobreposição reduzida ou ausente em relação a esse fluxo, em comparação com o anterior.

A justificativa específica para a exclusão ou seleção de portos é apresentada na Seção 3.5.2.

3.5.2 Resultados da Triagem Detalhada

A aplicação dos critérios de triagem refinada resultou na redução da lista de portos de 18 para 12, formando o conjunto final de candidatos que avançam para a etapa de Seleção Final (conforme resumido na tabela abaixo).

Embora as avaliações de compatibilidade espacial apresentadas nas Seções 3.5.1.1 e 3.5.1.2 tenham fornecido uma base essencial para determinar a adequação geográfica de cada porto, esses fatores espaciais não foram os únicos determinantes. Uma análise minuciosa das características técnicas de cada porto, incluindo infraestrutura de atracação, canais de acesso, capacidade de armazenamento, layout, restrições operacionais e potencial de desenvolvimento, foi realizada paralelamente para garantir que apenas os portos que demonstrassem tanto alinhamento locacional quanto preparação técnica adequada avançassem para a etapa seguinte.

Região Nordeste

No Nordeste, a análise espacial e a avaliação técnica indicam, em conjunto, que Itaqui, Pecém e Fortaleza se destacam claramente como fortes candidatos. Todos os três portos apresentam clara sobreposição com os locais planejados para parques eólicos offshore em ambas as vertentes de desenvolvimento e possuem atributos técnicos essenciais.

Foi necessária uma comparação entre Recife e Suape, uma vez que ambos se situam na área de influência mais ampla dos grandes empreendimentos eólicos offshore. Embora Recife esteja ligeiramente mais próximo de certos locais planejados, Suape apresenta uma configuração portuária significativamente mais favorável. Suape oferece um layout portuário maior e mais flexível, uma infraestrutura mais sólida, experiência prévia no manuseio de pás e torres de turbinas eólicas (historicamente ligada às operações da LM Wind Power) e um potencial substancialmente maior para expansão futura. Com base nisso, Suape foi selecionado para avançar, enquanto Recife foi excluído.

Região Sudeste

No Sudeste, quatro portos atendem claramente aos requisitos espaciais e técnicos combinados: Barra do Riacho, TUP Imetame, Porto Central e Açú. Esses portos apresentam clara sobreposição com os locais planejados para parques eólicos offshore em ambas as vertentes de desenvolvimento e apresentam características técnicas favoráveis, incluindo geometria adequada dos cais, capacidade de armazenamento e adequação geral da infraestrutura.

Foi realizada uma avaliação comparativa entre o Rio de Janeiro e Itaguaí, que se encontram em estreita proximidade espacial. Embora ambos os portos apresentem sobreposição com praticamente toda a região Sudeste, o Rio de Janeiro foi selecionado devido à sua infraestrutura portuária mais favorável e maior flexibilidade operacional. Itaguaí, por outro lado, é caracterizado por contratos de arrendamento de longo prazo substanciais e uma alta proporção de áreas já destinadas a outros fins, resultando em oportunidades mais limitadas de expansão e adaptação às atividades eólicas offshore.

Os portos de Santos e São Sebastião foram excluídos principalmente devido à falta de sobreposição espacial adequada com os locais planejados para os parques eólicos offshore. Além disso, seus perfis técnicos não apresentavam vantagens convincentes em comparação com o já sólido conjunto de candidatos da região Sudeste identificados.

Região Sul

Na Região Sul, as avaliações combinadas de SIG e técnicas apoiam a seleção de Rio Grande e Imbituba, que satisfazem os critérios espaciais e apresentam infraestrutura portuária adequada e potencial de desenvolvimento para operações de construção de energia eólica offshore.

Os portos de Antonina e Paranaguá foram excluídos devido ao seu alinhamento espacial limitado com a região. Além disso, ambos os portos dependem principalmente de instalações terminais arrendadas, o que limita ainda mais sua capacidade de proporcionar a expansão necessária para as atividades de energia eólica offshore.

Por fim, Itajaí foi incluído para atuar potencialmente como um centro de distribuição atendendo à parte norte da região Sul. Embora o porto não atenda ao requisito espacial de “Nearshore”, ele foi incluído para avaliação mais aprofundada na próxima etapa.

Tabela 3-10 Visão geral dos portos pré-selecionados na Etapa 4 – Triagem Detalhada

Portos pré-selecionados	
Itaqui (Nordeste)	Porto Central (Sudeste)
Pecém (Nordeste)	Açu (Sudeste)
Fortaleza (Nordeste)	Rio de Janeiro (Sudeste)
Suape (Nordeste)	Itajaí (Sul)
Barra do Riacho (Sudeste)	Imbituba (Sul)
TUP Imetame (Sudeste)	Rio Grande (Sul)

Tabela 3-11 Visão geral das portos desmarcadas na Etapa 4 – Triagem detalhada

Portos desmarcadas	Comentário
Recife (Nordeste)	Encontra-se no limite da adequação espacial (400 km) e apresenta potencial de infraestrutura e desenvolvimento comparativamente menor do que outros portos candidatos na região Nordeste (por exemplo, Suape).
Itaguaí (Sudeste)	Apresenta adequação operacional e de infraestrutura comparativamente menor quando avaliado em relação a outros portos candidatos na região Sudeste (por exemplo, Rio de Janeiro, Açu e Porto Central).
São Sebastião (Sudeste)	Encontra-se no limite da adequação espacial (400 km) e oferece cobertura adicional limitada quando comparado a outros portos candidatos na região Sudeste (por exemplo, Rio de Janeiro, Açu e Porto Central).
Santos (Sudeste)	Fica logo fora da faixa de proximidade adequada às áreas de desenvolvimento eólico offshore do Sudeste identificadas na avaliação espacial (por exemplo, Rio de Janeiro, Açu e Porto Central).
Antonina (Sul)	Encontra-se no limite da adequação espacial (400 km) e oferece cobertura adicional limitada quando avaliado em comparação com outros portos candidatos na região Sul (por exemplo, Itajaí e Imbituba).
Paranaguá (Sul)	Encontra-se no limite da adequação espacial (400 km) e oferece cobertura adicional limitada quando comparado a outros portos candidatos na região Sul (por exemplo, Itajaí e Imbituba).

3.6 Etapa 5 – Seleção Final

3.6.1 Critérios de Seleção Final

A etapa de seleção final teve como objetivo identificar dois portos por região que atendessem aos requisitos espaciais, logísticos e operacionais mais promissores para o desenvolvimento da energia eólica offshore nas três regiões do Brasil. O objetivo era garantir que cada região mantivesse um conjunto equilibrado de opções portuárias capazes de atender tanto a empreendimentos próximos à costa quanto a grandes empreendimentos offshore.

Os portos que não avançaram para esta etapa não devem ser interpretados como inadequados ou irrelevantes para o desenvolvimento de longo prazo da energia eólica offshore no Brasil. A seleção reflete um exercício estruturado de priorização realizado dentro de um escopo e cronograma definidos. Vários portos excluídos demonstraram potencial significativo e podem justificar uma reavaliação à medida que o marco regulatório amadureça, a carteira de projetos se desenvolva e mais informações técnicas se tornem disponíveis.

Nesta fase, o aperfeiçoamento dos portos pré-selecionados exigiu informações técnicas e operacionais adicionais que não estavam totalmente disponíveis em fontes públicas. Para resolver essa questão, foram emitidos pedidos de informações (Rfls Anexo 3 – Solicitação de informações) às autoridades portuárias competentes. Esses pedidos de informações tinham como objetivo confirmar a situação atual das instalações portuárias e obter parâmetros-chave ausentes, essenciais para esta etapa de triagem. Foi dada ênfase especial à compreensão da situação e da duração dos contratos de arrendamento existentes, especialmente para terminais operados pela iniciativa privada (TUPs), a fim de determinar se haveria disponibilidade suficiente de paredões de

cais ou áreas de pátio para atividades de energia eólica offshore dentro de um prazo realista. Essas informações normalmente não são divulgadas na documentação disponível ao público, tornando essencial o contato direto com as autoridades portuárias. O processo de RfI também atendeu às necessidades de dados para o Capítulo 4 (Avaliação Detalhada), fornecendo as especificações técnicas necessárias para os conceitos de modernização.

Após o recebimento das respostas às RfIs, perguntas de acompanhamento específicas também foram enviadas aos portos que haviam manifestado forte interesse no desenvolvimento da energia eólica offshore. Isso garantiu o esclarecimento de quaisquer ambiguidades, validou a integridade das informações fornecidas e facilitou uma comparação mais sólida entre os portos candidatos com base em seus perfis técnicos e operacionais atualizados.

Com base nos resultados das RfIs e das perguntas de acompanhamento, foram realizadas visitas in loco, incluindo consultas específicas, no Brasil, no período de 16 a 25 de março de 2026, aos seis portos que permaneceram como candidatos à Seleção Final. Essas visitas permitiram à COWI avaliar as condições físicas da infraestrutura portuária, validar as informações fornecidas por meio das RfIs e discutir os planos de desenvolvimento diretamente com as equipes de gestão portuária.

3.6.1.1 Piauí e Rio Grande do Norte

Como parte desse processo, o feedback das partes interessadas, incluindo a DEA e o MPOR, levou à identificação de dois projetos adicionais de desenvolvimento portuário: Piauí e Rio Grande do Norte. Ambas as iniciativas manifestaram claro interesse em apoiar atividades de energia eólica offshore e estão situadas na região Nordeste, onde se concentra uma parcela significativa do pipeline de projetos de energia eólica offshore propostos para o mercado brasileiro.

O Porto do Piauí foi mencionado durante o processo de engajamento das partes interessadas. No entanto, nenhuma informação técnica ou estratégica detalhada foi disponibilizada no contexto deste estudo. Seu status de desenvolvimento e as características de sua infraestrutura, portanto, não puderam ser avaliados, e nenhuma conclusão adicional é tirada nesta fase.

O Porto do Rio Grande do Norte representa uma iniciativa de planejamento mais avançada e forneceu uma resposta substancial à solicitação de informações (RfI), incluindo um layout conceitual do porto elaborado pelos proponentes do projeto. O porto está sendo desenvolvido por meio de uma concessão do governo estadual do Rio Grande do Norte, com um investimento privado previsto de aproximadamente 5,6 bilhões de reais (cerca de 1,15 bilhão de dólares). O projeto conceitual incorporou explicitamente a energia eólica offshore como principal caso de uso, com base em portos de referência, incluindo Esbjerg, Hull, Cuxhaven e Eemshaven.

O projeto conceitual do porto destina áreas significativas à energia eólica offshore ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, incluindo zonas para armazenamento e pré-montagem de componentes, fabricação de pás, um terminal dedicado à instalação e um terminal dedicado à operação e manutenção (O&M). O porto prevê ainda sinergias com um polo de produção de hidrogênio verde e amônia, tendo a geração de eletricidade eólica offshore como principal insumo.

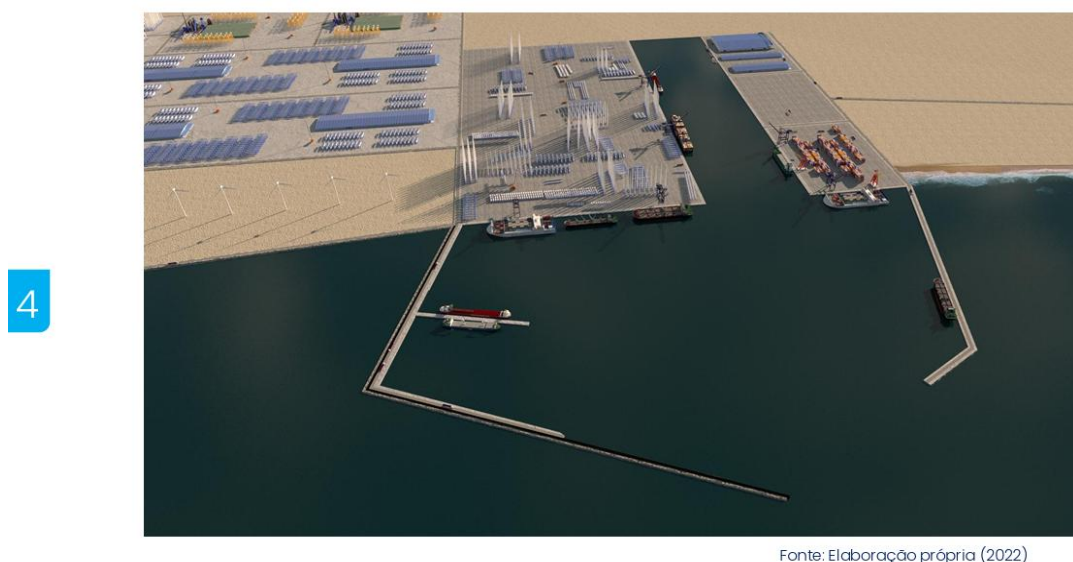
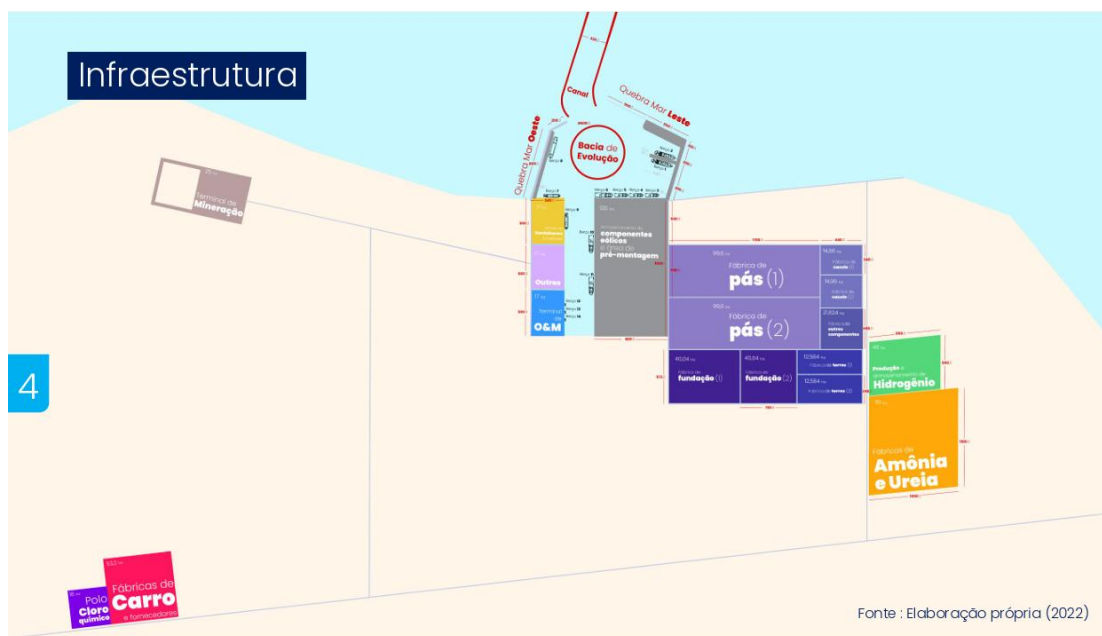


Figura 3-3 Layout conceitual do Rio Grande do Norte + ilustração em 3D. Fonte: Prof. Mario Gonzalez, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

A trajetória de desenvolvimento do porto, no entanto, ainda se encontra em um estágio inicial. As principais etapas de licenciamento ainda não foram concluídas, a concessão não foi adjudicada e o investimento continua sujeito ao resultado de um futuro processo competitivo. Por essas razões e considerando que o nível de informações técnicas e regulatórias confirmadas não foi suficiente para sustentar uma avaliação de lacunas robusta e comparável, o Rio Grande do Norte não foi incluído na avaliação detalhada dos portos deste estudo.

O porto é, no entanto, recomendado, juntamente com o do Piauí, como candidato à inclusão em qualquer modernização futura desta avaliação, assim que o processo de concessão avançar e os parâmetros técnicos fundamentais forem confirmados.

3.6.2 Resultados da Seleção Final

O processo de seleção final resultou na identificação de dois portos por região, totalizando seis portos que avançaram para a fase de avaliação detalhada.

3.6.2.1 Região Nordeste

A região Nordeste entrou na fase de Seleção Final com quatro portos pré-selecionados: Itaqui, Pecém, Fortaleza e Suape. Cada porto foi avaliado com base em sua adequação técnica e potencial de desenvolvimento, a partir das informações recém-fornecidas na resposta à Solicitação de Informações (Rfi), esclarecimentos posteriores e conclusões da visita in loco, quando aplicável. A seguir, são apresentados os fundamentos por trás da seleção final de dois portos para esta região.

Itaqui respondeu à Rfi com uma postura neutra em relação ao envolvimento em atividades de energia eólica offshore, em grande parte devido à sua experiência limitada no setor. O porto relatou uma taxa de ocupação de cerca de 90% e apresentou planos de expansão; no entanto, essas expansões visam principalmente resolver gargalos de capacidade existentes e atender aos segmentos de mercado atuais, em vez de acomodar novos mercados, como as operações de energia eólica offshore. Combinado com sua distância comparativamente maior até os locais potenciais de parques eólicos offshore em relação aos outros candidatos do Nordeste, Itaqui não foi selecionado para avançar para a lista final de candidatos.

Pecém manifestou forte interesse no desenvolvimento da energia eólica offshore e demonstrou experiência prévia substancial no manuseio de componentes de turbinas eólicas por meio da presença da fábrica de pás da Aeris, localizada dentro do complexo portuário. Sua localização oferece cobertura espacial completa dos locais de parques eólicos offshore do Nordeste, e a Rfi delineou planos de expansão de longo prazo, incluindo o possível estabelecimento de um terminal dedicado à energia eólica offshore. Foram enviadas perguntas complementares para esclarecer aspectos das áreas de expansão propostas, e posteriormente foi organizada uma visita ao local para avaliar se a infraestrutura existente e a logística interna do porto (notadamente o transporte de componentes entre áreas temporárias de cais e pátios de armazenamento por meio de uma ponte interna) poderiam dar suporte a futuras operações de energia eólica offshore.

Fortaleza respondeu positivamente à Rfi, mas demonstrou adequação mais limitada em comparação com os candidatos regionais. Embora o porto tenha alguma experiência prévia no manuseio de componentes de turbinas eólicas, tratava-se de unidades relativamente pequenas e não representativas da escala abordada neste estudo. O porto forneceu um Plano Diretor atualizado indicando que as áreas remanescentes não atribuídas tinham uma área total muito pequena para acomodar atividades relacionadas à energia eólica offshore ou estavam destinadas a fins recreativos, sujeitas a restrições ambientais e públicas. Como resultado, constatou-se que as oportunidades disponíveis de cais e armazenamento eram limitadas. Embora adequada em princípio, Fortaleza não foi selecionada, pois demonstrou menor potencial de desenvolvimento em relação aos candidatos mais fortes da região.

Suape manifestou, na Solicitação de Informações (Rfi), sua intenção de se envolver no desenvolvimento de energia eólica offshore e apresentou sua experiência anterior por meio do manuseio histórico de pás de turbinas associadas à antiga instalação da LM Wind Power, localizada dentro do complexo portuário. O Plano Diretor atualizado, fornecido durante a Rfi, indicou áreas de expansão disponíveis significativas, capazes de acomodar um terminal eólico offshore de grande escala. Além disso, Suape esclareceu a situação dos atuais contratos de arrendamento do TUP, indicando potencial para soluções de curto prazo por meio da reaproveitamento de áreas existentes. Apesar da distância significativa de Suape em relação ao parque eólico proposto mais próximo (no limite do que é considerado aceitável para a construção de energia eólica offshore), sua sólida infraestrutura e amplo potencial de expansão — reforçados pelo feedback das partes interessadas (MPOR), que destacaram os planos de desenvolvimento do porto e o forte interesse em energia eólica offshore — levaram à sua seleção para a visita ao local.

Durante essa fase, os dois portos em desenvolvimento, Piauí e Rio Grande do Norte, foram apresentados como candidatos emergentes de longo prazo. Ambos os projetos demonstraram interesse inicial em atividades de energia eólica offshore e indicaram disposição para responder à Solicitação de Informações (Rfi). No caso do Piauí, não foram recebidas informações adicionais

após a troca inicial. No caso do Rio Grande do Norte, foram fornecidas informações adicionais; no entanto, indicou-se que o projeto ainda se encontra em um estágio inicial de desenvolvimento e ainda não conta com o apoio da estrutura de licenciamento ambiental pertinente.

Consequentemente, embora ambos os portos possam apresentar potencial para futuras atividades de energia eólica offshore, o nível de detalhamento e maturidade exigido para a avaliação nesta fase não foi suficientemente estabelecido. Portanto, eles não foram considerados alternativas viáveis de curto prazo aos portos selecionados nesta etapa.

A Figura 3-3 ilustra a distribuição espacial dos portos selecionados e excluídos para a região Nordeste. Os portos selecionados nesta etapa são mostrados em verde, enquanto os excluídos são mostrados em vermelho. Os dois portos em desenvolvimento, Piauí e Rio Grande do Norte, também são mostrados em verde; embora não tenham sido selecionados para consideração no curto prazo, eles são incluídos apenas para fornecer uma visão espacial para estudos futuros e para apoiar o planejamento estratégico de longo prazo para o setor de energia eólica offshore do Brasil. A figura exibe as zonas tampão de 200 km e 400 km, correspondendo, respectivamente, aos limites “Nearshore” e “Large Offshore”. Conforme mostrado, Pecém oferece cobertura total de toda a região, que se caracteriza por algumas das maiores velocidades médias anuais do vento e condições batimétricas favoráveis no Brasil. Suape, embora apresente uma sobreposição espacial muito mais limitada, continua incluída devido ao seu perfil técnico significativamente mais robusto e ao extenso potencial de desenvolvimento, o que a torna uma opção estrategicamente valiosa para futuras atividades eólicas offshore na região.

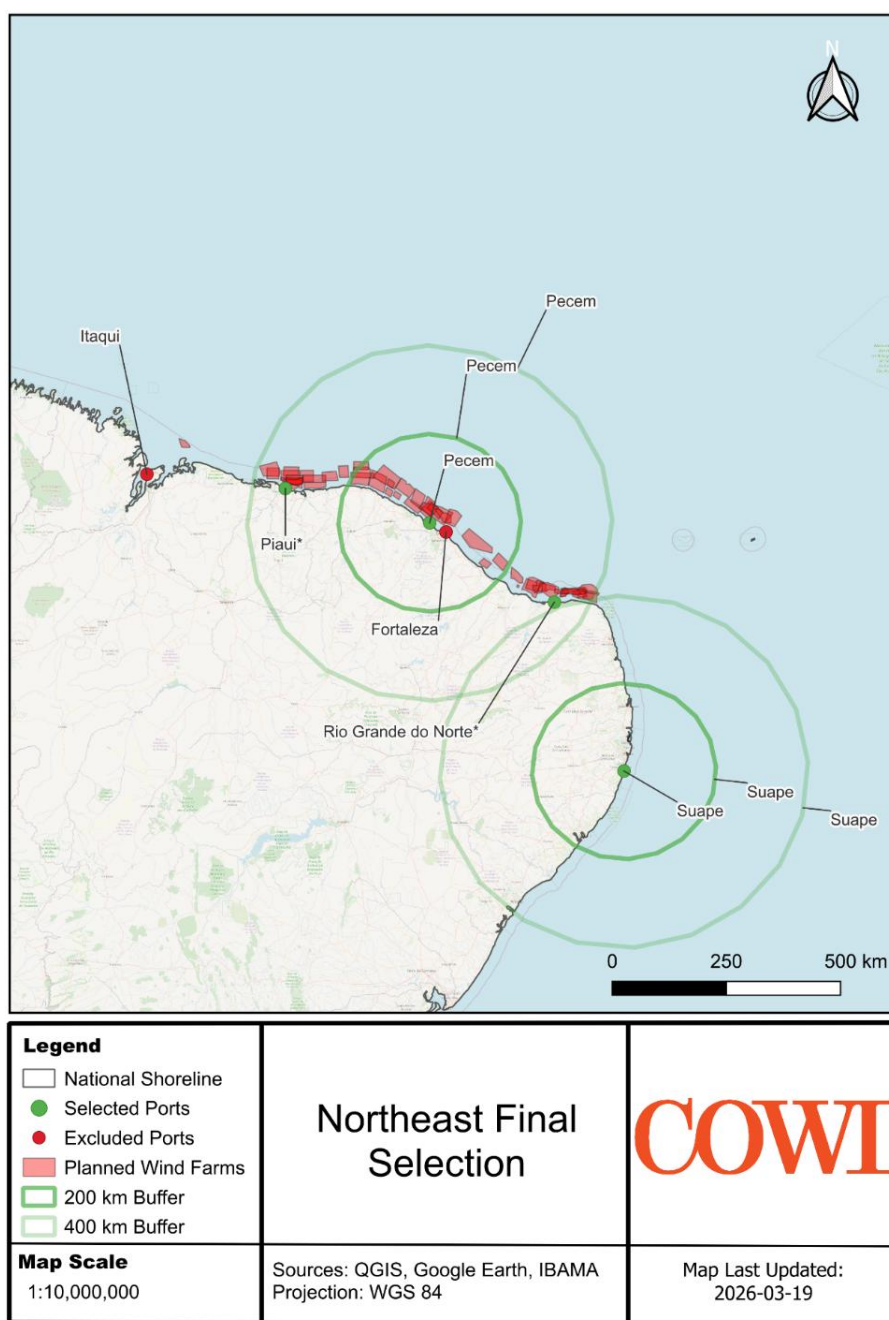


Figura 3-4 Resultados finais da seleção de portos no Nordeste e locais propostos para parques eólicos offshore

* Correspondem aos portos de desenvolvimento mencionados nas consultas às partes interessadas e estão incluídos na figura para refletir sua localização em relação aos outros portos avaliados.

3.6.2.2 Região Sudeste

A região Sudeste chegou à fase de Seleção Final com 5 portos pré-selecionados: Barra do Riacho, TUP Imetame, Porto Central, Açu e Rio de Janeiro. Cada porto foi avaliado com base em sua adequação técnica e potencial de desenvolvimento, a partir das informações recém-fornecidas conforme a apresentação da Solicitação de Informações (Rfi), esclarecimentos posteriores e as conclusões da visita in loco, quando aplicável. A seguir, são apresentados os fundamentos por trás da seleção final de dois portos para esta região.

A Barra do Riacho não respondeu à Solicitação de Informações (Rfi). O objetivo principal da Rfi era esclarecer se as áreas não urbanizadas dentro da Área Portuária Organizada poderiam ser disponibilizadas para futuras atividades de energia eólica offshore, o que não pôde ser confirmado

com base nas informações disponíveis publicamente. Além disso, a Barra do Riacho está alinhada espacialmente apenas com a parte norte dos locais de parques eólicos offshore do Sudeste, conforme mostrado na Seção 3.5. Somado à falta de confirmação quanto à disponibilidade de terrenos, o porto não foi selecionado para avançar na seleção.

O TUP Imetame também não respondeu à Rfl. A Rfl buscava informações sobre o interesse do porto em investimentos em energia eólica offshore, cronogramas previstos de construção (já que a instalação ainda está em desenvolvimento em fases) e a disponibilidade de áreas adequadas para um terminal de energia eólica offshore. Assim como no caso de Barra do Riacho, o alinhamento espacial limita-se principalmente à parte norte dos locais de parques eólicos offshore do Sudeste. Sem os esclarecimentos necessários sobre os cronogramas de desenvolvimento e a flexibilidade operacional, e com base no conhecimento atual, a TUP Imetame não foi selecionada.

O Porto Central manifestou forte interesse no desenvolvimento da energia eólica offshore. O porto se vê como um futuro ator-chave para o setor de energia eólica offshore do Brasil e apresentou planos de desenvolvimento substanciais, com amplas áreas disponíveis para expansão da infraestrutura. A Rfl incluiu plantas detalhadas mostrando opções claras para abrigar um terminal especializado em energia eólica offshore. Especialmente, o Porto Central apresenta total sobreposição com os locais de energia eólica offshore do Sudeste, o que o torna idealmente localizado para atender toda a região. Foram enviadas perguntas complementares para esclarecer o cronograma previsto para a construção das fases restantes do porto, e foi agendada uma reunião virtual com a autoridade portuária para validar a prontidão e a adequação das áreas planejadas. Com base em sua cobertura espacial, potencial de infraestrutura e alinhamento estratégico, o Porto Central foi selecionado.

O Açú também demonstrou um forte compromisso com o desenvolvimento da energia eólica offshore e se apresentou como um futuro polo-chave no setor. O porto possui experiência prévia no manuseio de componentes relacionados, incluindo cabos submarinos, e oferece suporte a operações de serviços offshore, demonstrando capacidade operacional relevante para a energia eólica offshore. Embora a Solicitação de Informações (Rfl) tenha identificado várias áreas candidatas (“greyfield sites”) para um terminal eólico offshore, verificou-se inicialmente que algumas não atendiam às dimensões técnicas exigidas (Tabela 3-1). Portanto, foram enviadas perguntas complementares para esclarecer se essas áreas poderiam ser ampliadas, compartilhar infraestrutura com os TUPs existentes ou ser aprofundadas por meio de dragagem.

Posteriormente, foi organizada uma visita ao local para estabelecer uma compreensão clara do estágio atual de desenvolvimento do porto e avaliar a viabilidade dos locais propostos para o terminal eólico offshore. Devido à sua total sobreposição espacial com os locais do Parque Eólico Offshore do Sudeste e ao seu forte potencial técnico, Açú foi selecionado.

O Rio de Janeiro não respondeu à Rfl. O porto é caracterizado por espaço disponível limitado, alta ocupação dos berços e extensas áreas já comprometidas por meio de contratos de arrendamento de longo prazo, o que restringe as oportunidades para novos empreendimentos de grande escala. Embora o Rio de Janeiro se beneficie da proximidade favorável aos locais dos parques eólicos offshore do Sudeste, a Rfl buscava esclarecimentos sobre a disponibilidade de berços, alocação de pátios e interesse em investimentos em energia eólica offshore; informações que, infelizmente, não puderam ser obtidas. Com base no conhecimento atual e considerando seu foco em atender indústrias já estabelecidas, o Rio de Janeiro não foi selecionado. Com base na avaliação espacial combinada, na avaliação técnica e no processo de engajamento das partes interessadas, Porto Central e Açú foram selecionados como os portos finais da região Sudeste para avançar para a próxima etapa do estudo.

A Figura 3-4 ilustra a distribuição espacial dos portos selecionados e excluídos para a região Sudeste. Os portos selecionados nesta etapa são mostrados em verde, enquanto os excluídos são mostrados em vermelho. A figura inclui as zonas tampão de 200 km e 400 km correspondentes aos limites “Nearshore” e “Large Offshore”. Pode-se observar claramente que Porto Central e Açú oferecem cobertura total da zona de desenvolvimento eólico offshore do Sudeste para ambas as vertentes, demonstrando sua adequação em termos de localização.

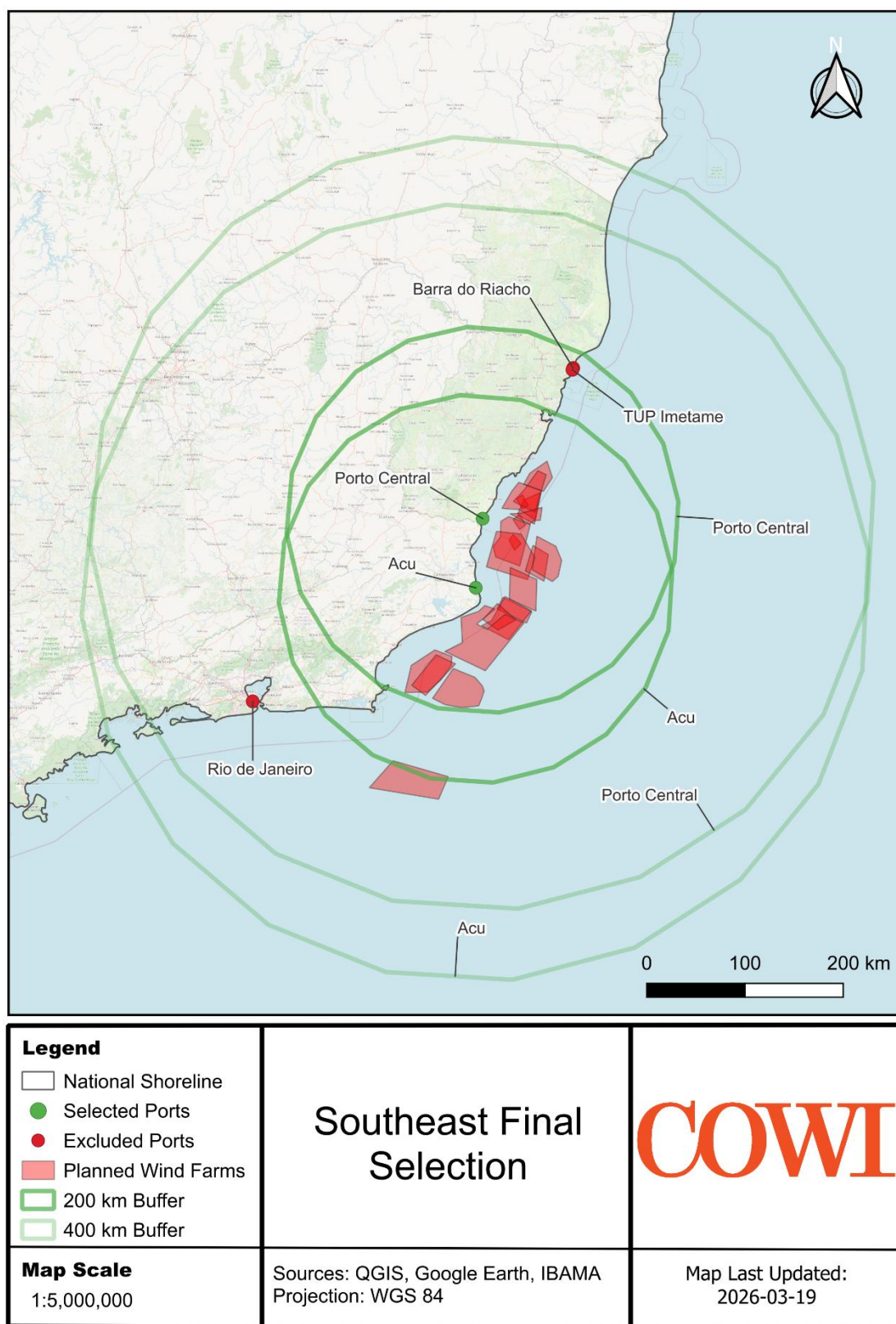


Figura 3-5 Resultados finais da seleção de portos do Sudeste e locais propostos para parques eólicos offshore

3.6.2.3 Região Sul

A região Sul chegou à fase de Seleção Final com três portos pré-selecionados: Itajaí, Imbituba e Rio Grande. Cada porto foi avaliado com base em sua adequação técnica e potencial de desenvolvimento, a partir das informações recém-fornecidas na resposta à Solicitação de Informações (Rfi), dos esclarecimentos posteriores e das conclusões da visita in loco, quando aplicável. A seguir, são apresentados os fundamentos que levaram à seleção final de dois portos para esta região.

Itajaí não respondeu à Solicitação de Informações (Rfi). O porto é caracterizado por espaço disponível limitado, altos níveis de ocupação devido a contratos de arrendamento de longo prazo e potencial mínimo para a expansão necessária dentro da Área Portuária Organizada. A Rfi buscava esclarecimentos sobre a disponibilidade de berços, alocação de pátio e interesse em atividades de energia eólica offshore, nenhum dos quais pôde ser confirmado. Especialmente, Itajaí se alinha apenas à parte norte dos locais dos parques eólicos offshore do Sul, conforme descrito na Seção 3.5. Com base no conhecimento atual, o porto não foi selecionado para a lista final de candidatos. Observa-se, no entanto, que Itajaí continua sendo uma opção secundária na região, caso um desenvolvimento direcionado ou infraestrutura dedicada se tornem viáveis a longo prazo.

Imbituba demonstrou uma postura favorável em relação aos investimentos em energia eólica offshore. Embora o porto disponha atualmente de instalações limitadas de cais e armazenamento, ele possui espaço potencial para novos empreendimentos. Seriam necessários investimentos significativos e um compromisso claro por parte da autoridade portuária, especialmente considerando que as únicas áreas disponíveis dentro da Área Portuária Organizada estão localizadas no mar e, portanto, exigiriam extensas obras de recuperação de terras. No entanto, a localização de Imbituba oferece ampla cobertura espacial de uma parte substancial da região Sul, tornando-a uma candidata estrategicamente importante. Foram enviadas perguntas complementares para esclarecer a posição do porto em relação a grandes investimentos em infraestrutura, à viabilidade de recuperação de novas áreas e se algum dos três cais existentes poderia ser designado ou alugado para atividades de energia eólica offshore. Foram tomadas providências para abordar esses pontos durante a visita ao local, incluindo a verificação da área preservada dentro da Área Portuária Organizada e uma avaliação de se ela poderia suportar um desenvolvimento futuro.

O Porto do Rio Grande manifestou forte interesse no desenvolvimento da energia eólica offshore. O porto apresentou uma resposta abrangente à Solicitação de Informações (Rfi), incluindo um Plano Diretor atualizado com informações detalhadas sobre os contratos de arrendamento existentes. O porto demonstrou que várias áreas dentro da Área Portuária Organizada podem ser adequadas para futuros empreendimentos de energia eólica offshore. Especialmente, o Porto do Rio Grande oferece cobertura quase total da zona de desenvolvimento de energia eólica offshore do Sul. As perguntas de acompanhamento se concentraram em confirmar a disponibilidade de longo prazo de áreas específicas para arrendamento e em avaliar se a expansão para a área de São José do Norte seria viável. Posteriormente, foi organizada uma visita ao local para validar esses aspectos e explorar oportunidades de colaboração com os TUPs existentes, incluindo a possibilidade de compartilhamento de instalações de atracação.

Com base na análise espacial combinada, na avaliação técnica e no processo de engajamento das partes interessadas, Imbituba e Rio Grande foram selecionados como os portos finais da região Sul para avançar para a próxima etapa do estudo.

Figura 3-6 ilustra a distribuição espacial dos portos selecionados e excluídos para a região Sul. Os portos selecionados nesta etapa são mostrados em verde, enquanto os excluídos são mostrados em vermelho, juntamente com as zonas tampão de 200 km e 400 km correspondentes aos limites “Nearshore” e “Large Offshore”. É evidente que Rio Grande e Imbituba, juntos, proporcionam cobertura espacial completa da zona de desenvolvimento eólico offshore do Sul, demonstrando sua adequação em termos de localização.

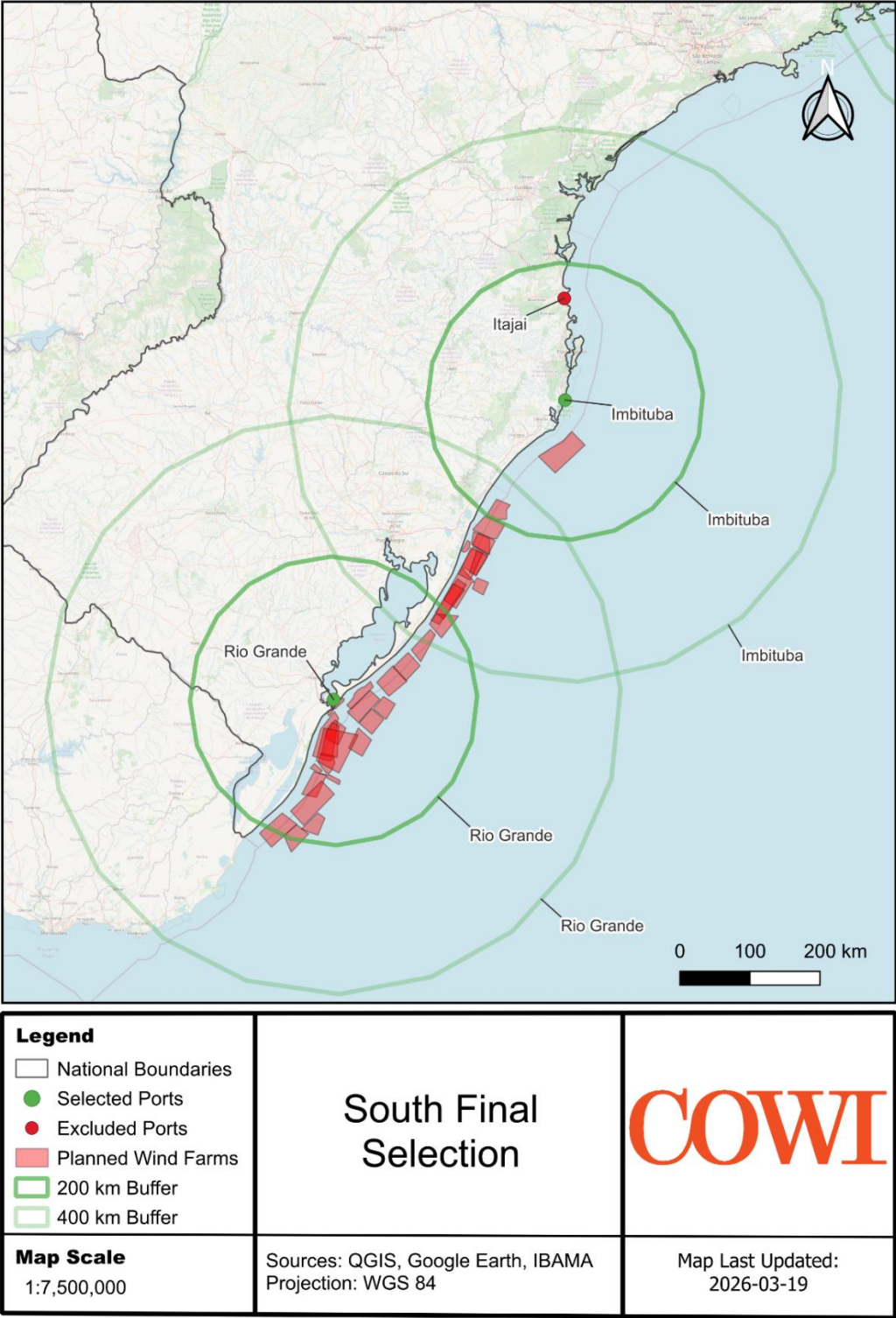


Figura 3-6 Resultados da seleção final de portos da região Sul e locais propostos para parques eólicos offshore

Tabela 3-12 Portos selecionados e desclassificados na Etapa 5 – Seleção Final

Portos pré-selecionados
PECEM (Nordeste)
Suaape (Nordeste)
Porto Central (Sudeste)
Açu (Sudeste)
Imbituba (Sul)
Rio Grande (Sul)

Tabela 3-13 Visão geral dos portos desclassificados na Etapa 5 – Seleção Final

Portos desmarcados	Comentário
Itaqui (Nordeste)	Posição neutra em relação aos investimentos privados em energia eólica offshore; alta taxa de ocupação (>90%), limitando a disponibilidade de cais e áreas de armazenamento; planos de desenvolvimento focados no alívio do congestionamento dos terminais e mercados existentes; maior distância até locais potenciais para energia eólica offshore e flexibilidade operacional limitada em comparação com outros candidatos regionais.
Fortaleza (Nordeste)	Disponibilidade limitada de cais e capacidade de armazenamento, sem espaço para novos empreendimentos de grande porte; espera-se que as áreas disponíveis sejam dedicadas aos terminais existentes e aos mercados atuais; restrições adicionais de uso do solo decorrentes de destinações recreativas e restrições ambientais/públicas; potencial de desenvolvimento geral limitado em comparação com outros candidatos regionais.
Barra do Riacho (Sudeste)	Falta de informações técnicas e operacionais confirmadas; adequação espacial limitada à parte norte da região Sudeste; maior distância até locais de parques eólicos offshore em comparação com candidatos regionais.
TUP Imetame (Sudeste)	Falta de informações técnicas e operacionais confirmadas; adequação espacial limitada a locais potenciais para parques eólicos offshore na parte norte da região Sudeste; maior distância até locais potenciais para parques eólicos offshore em comparação com outros candidatos regionais.
Rio de Janeiro (Sudeste)	Falta de informações técnicas e operacionais confirmadas; as restrições de espaço nos estaleiros existentes limitam o potencial de desenvolvimento para atividades eólicas offshore.
Itajaí (Sul)	Falta de informações técnicas e operacionais confirmadas; as restrições existentes de espaço no pátio limitam o potencial de desenvolvimento para atividades de energia eólica offshore.

3.6.3 Comentários sobre os resultados finais da seleção para uso em O&M

Embora as necessidades de O&M difiram significativamente das demandas da fase de construção, essas diferenças não alteram a metodologia geral de seleção de portos aplicada neste estudo. O mesmo processo estruturado de triagem e refinamento utilizado para identificar os portos de construção é adequado e suficiente para identificar portos com forte potencial para O&M. A única consideração adicional introduzida nesta etapa foi um limite indicativo de proximidade de aproximadamente 100 km, aplicado por meio de uma análise GIS ampliada para avaliar como cada porto selecionado se alinha às distâncias típicas de transporte para operações de O&M. Isso garante que os portos selecionados na Etapa 5 possam atender tanto às necessidades de construção quanto às de O&M de longo prazo, sem a necessidade de um processo de avaliação separado.

Conforme descrito em 2.4, os requisitos dos portos de O&M diferem em três áreas principais:

1. **Maior sensibilidade à localização:** as atividades de O&M exigem transferências frequentes de técnicos, tripulação e peças de reposição para manutenção preventiva e corretiva, inspeções e tarefas de gestão de ativos. Para operações em terra que utilizam CTVs, os alcances típicos de viagem ficam dentro de 100 km, enquanto os SOVs permitem distâncias operacionais de 100 a 200 km.
 - a. No Nordeste, Pecém está particularmente bem alinhado com as expectativas de distância para O&M, oferecendo grande proximidade com a área central de desenvolvimento. O porto em desenvolvimento no Rio Grande do Norte também parece promissor (aguardando mais detalhes) devido à indicação de que destinará um berço especializado para atividades de O&M.
 - b. No Sudeste, tanto Porto Central quanto Açu atendem muito bem aos limites indicativos de distância para O&M e oferecem ampla cobertura regional para operações de O&M de longo prazo.
 - c. No Sul, o Rio Grande atende às expectativas de distância para operações e manutenção (O&M) para a maior parte da região Sul, sendo que o local mais ao norte do parque eólico offshore (OWF) está abrangido pelo raio indicativo de 100 km para O&M de Imbituba.
2. **Requisitos menos rigorosos para atracação e armazenamento:** os portos de O&M exigem instalações significativamente menores em comparação com os portos de construção. Os requisitos de atracação e canais também são menos exigentes, devido ao menor tamanho das embarcações utilizadas na O&M (CTVs e SOVs). Isso significa que portos que possam enfrentar limitações para atividades de armazenamento durante a fase de construção podem permanecer viáveis para uso de O&M a longo prazo.
3. **Proximidade da força de trabalho e dos serviços de apoio:** Ao contrário das atividades de construção, que dependem de mão de obra temporária e vinculada a projetos, a O&M requer uma força de trabalho permanente e estável. Portos localizados próximos a vilas, cidades ou áreas industriais estabelecidas, portanto, ganham vantagem, pois podem atender mais prontamente às necessidades contínuas de pessoal exigidas pelas atividades operacionais de longo prazo. Tabela 3-8: Avaliação indicativa de adequação para O&M dos seis portos selecionados

Tabela 3-14 Avaliação indicativa da adequação para O&M dos seis portos selecionados

Nome do porto	Região	Distância indicativa até os locais de parques eólicos offshore mais próximos	Classificação de adequação	Observações
Pecém	Nordeste	<100 km	Alta	Bem posicionado em relação aos locais de parques eólicos offshore, com fácil acesso à mão de obra e

Nome do porto	Região	Distância indicativa até os locais de parques eólicos offshore mais próximos	Classificação de adequação	Observações
				adequado tanto para estratégias de O&M com CTV quanto com SOV.
Suape	Nordeste	~400 km	Baixo	Menos ideal em termos de proximidade geográfica, mas com forte acesso à mão de obra.
Porto Central	Sudeste	<100 km	Médio	Bem alinhado espacialmente e apoiado por um forte potencial de desenvolvimento, mas relativamente distante dos principais centros de mão de obra.
Açu	Sudeste	<100 km	Alto	Bem alinhado espacialmente e apoiado por forte acesso à mão de obra, sendo adequado tanto para estratégias de O&M de CTV quanto de SOV.
Imbituba	Sul	~200 km	Médio	Moderadamente alinhado espacialmente e com acesso suficiente à mão de obra, com viabilidade para atividades de O&M tanto para CTV quanto para SOV.
Rio Grande	Sul	<100 km	Alto	Bem alinhado espacialmente para a maioria dos locais e com forte acesso à mão de obra, sendo adequado tanto para estratégias de O&M de CTV quanto de SOV.

Em resumo, embora os requisitos de O&M difiram das necessidades de construção, todos os portos selecionados na Etapa 5 mantêm um certo grau de adequação para funções de O&M. Alguns portos, como Pecém, Açu, Porto Central e Rio Grande, estão particularmente bem posicionados do ponto de vista da localização, enquanto outros oferecem fortes vantagens técnicas ou disponibilidade de mão de obra qualificada (como Suape) que complementam as estratégias de O&M de longo prazo.

3.7 Resumo da Seleção Final

O processo de seleção final resultou na identificação de dois portos por região, totalizando seis portos que avançaram para a avaliação detalhada. Esses seis portos refletem, atualmente, o maior alinhamento geral com os critérios, incluindo adequação espacial, prontidão técnica, potencial de desenvolvimento e posicionamento estratégico para apoiar o setor emergente de energia eólica offshore do Brasil. Devem, portanto, ser entendidos como os candidatos mais promissores neste estudo, e não como um ranking definitivo do potencial portuário para energia eólica offshore no Brasil.

Em todas as três regiões, os portos selecionados foram escolhidos entre os principais candidatos identificados nas etapas de avaliação anteriores, com base nas melhores informações disponíveis no momento da elaboração do relatório para portos que já estão construídos ou em estágio avançado de desenvolvimento. A seleção foi orientada pelo nível de clareza técnica alcançado por meio do processo de solicitação de informações (Rfi) e do diálogo subsequente, permitindo uma compreensão suficientemente robusta de parâmetros-chave, como disponibilidade de pátio,

alocação de berços, potencial de expansão e restrições operacionais existentes. Isso garantiu que a avaliação se baseasse em dados confiáveis e comparáveis entre os portos candidatos.

A seleção foi ainda mais consolidada por meio de visitas in loco aos portos candidatos finais. Durante essas visitas, as autoridades portuárias orientaram a COWI pelas instalações relevantes, permitindo a verificação das informações apresentadas e a avaliação direta das condições operacionais. As visitas proporcionaram insights importantes sobre o layout do porto, a circulação e a viabilidade prática de acomodar atividades de energia eólica offshore, fortalecendo assim a base técnica para a avaliação detalhada apresentada no Capítulo 4.

Figura 3-7 apresenta os resultados finais da seleção de portos para as três regiões. Os portos selecionados nesta etapa são mostrados em verde com suas respectivas legendas, enquanto os portos excluídos ficam ocultos para garantir clareza e evitar sobrecarregamento visual.

De modo geral, a seleção final reflete a adequação a vários aspectos-chave, incluindo cobertura espacial, capacidade técnica e alinhamento estratégico. Os seis portos selecionados — dois em cada uma das regiões Nordeste, Sudeste e Sul — representam os candidatos mais viáveis e bem fundamentados para apoiar a construção de parques eólicos offshore no Brasil, ao mesmo tempo em que oferecem forte potencial para expansão futura à medida que o mercado se desenvolve.

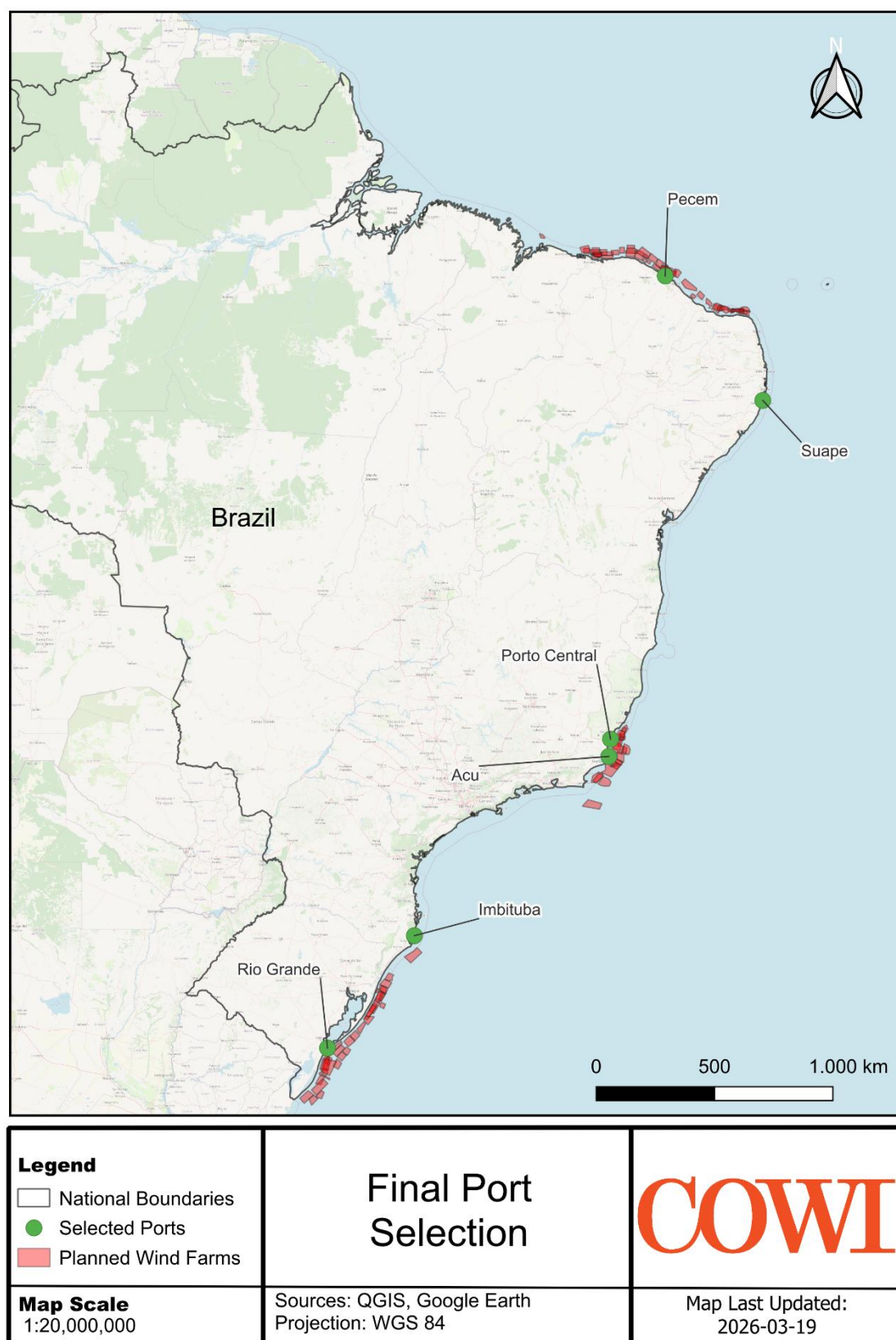


Figura 3-7 Resultados finais da seleção de portos e locais propostos para parques eólicos offshore

4 Avaliação detalhada dos portos

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta uma avaliação técnica detalhada dos seis portos pré-selecionados, identificando as melhorias e obras de desenvolvimento necessárias para viabilizar as atividades de construção de parques eólicos offshore em cada local. As avaliações se baseiam em informações dos Planos Diretores Portuários, nas respostas às Solicitações de Informações (RfIs) fornecidas pelas autoridades portuárias e nas conclusões das visitas ao local, complementadas pela experiência da COWI no projeto, modernização e planejamento de portos para a construção de parques eólicos offshore.

Cada avaliação portuária segue uma estrutura consistente: Visão Geral do Porto; Instalações Portuárias Existentes; Plano Diretor Portuário; Análise de Lacunas Portuárias; Conceito e Requisitos de Modernização para o cenário Large Offshore (turbinas de 15 MW) e o cenário Nearshore (turbinas de 6 a 8 MW); Considerações sobre Operação e Manutenção; e um Resumo. Para cada cenário, são apresentados layouts conceituais indicativos, estimativas de custo e cronogramas de implementação.

Três conceitos de desenvolvimento são avaliados para cada porto, quando aplicável:

- Um conceito de terminal dedicado para acomodar componentes eólicos offshore Large Offshore (15 MW)
- Um conceito de terminal dedicado em escala reduzida para componentes eólicos nearshore (6–8 MW)
- Um conceito de uso compartilhado que utilize a infraestrutura existente para componentes eólicos nearshore, quando relevante

Os conceitos propostos não devem ser vistos como soluções prontas para projeto. Em vez disso, têm como objetivo ilustrar como cada porto poderia, em princípio, acomodar atividades eólicas offshore e fornecer uma base para estudos posteriores e mais detalhados. Quando são propostos empreendimentos totalmente novos, estes são localizados em áreas já identificadas para desenvolvimento nos respectivos Planos Diretores Portuários.

4.1.1 Metodologia de custos e cronograma

Para cada desenvolvimento conceitual, foram preparadas estimativas indicativas de custos de capital e cronogramas de implementação para fornecer uma noção geral da escala do investimento envolvido. Essas estimativas baseiam-se na experiência da COWI em projetos comparáveis de desenvolvimento portuário e energia eólica offshore, aplicando taxas unitárias padrão do setor para as principais atividades de construção.

As estimativas de custo foram elaboradas no nível AACE Classe 5 / Ordem de Grandeza. Nesse nível de definição do projeto, as estimativas de custo normalmente apresentam uma margem de precisão esperada de -50% a +100%, refletindo as incertezas significativas inerentes à fase conceitual. Os números apresentados neste capítulo devem, portanto, ser entendidos como magnitudes indicativas destinadas a permitir uma comparação relativa entre cenários e portos, e não como valores precisos de investimento.

As principais premissas subjacentes às estimativas incluem:

- As taxas unitárias (expressas em dólares americanos) baseiam-se em referências do setor para obras semelhantes em mercados comparáveis, ajustadas ao contexto brasileiro nos casos em que havia dados disponíveis.

- Os custos de mobilização e desmobilização estão incluídos como uma porcentagem dos custos diretos de construção.
- A contingência do programa não está incluída separadamente, e a ampla faixa de precisão reflete essa incerteza.
- Os custos das obras identificadas nos Planos Diretores Portuários como parte do próprio programa de desenvolvimento do porto (por exemplo, dragagem do canal de acesso em Porto Central, extensão do quebra-mar em Pecém) estão excluídos das estimativas do terminal eólico offshore, uma vez que se trata de despesas de capital portuárias independentes do investimento em energia eólica offshore.
- A aquisição de terrenos, os custos de financiamento e os custos DEVEX (gestão de projetos, projeto detalhado, licenciamento) não estão incluídos nas estimativas de custos de construção.

Os cronogramas de implementação foram elaborados com base no caminho crítico das principais obras de construção, incluindo uma margem para atividades iniciais (projeto detalhado, planejamento e aquisição), normalmente estimadas em um a dois anos, dependendo de nossa compreensão da complexidade do empreendimento.

Os cronogramas não incluem os direitos de uso da área e as aprovações ambientais que devem ser obtidos antes do início da construção — processos que são altamente relevantes e diferem significativamente entre os dois regimes portuários. Para os Portos Públicos Organizados (Suape, Imbituba, Rio Grande), um terminal dedicado à energia eólica offshore normalmente requer um processo competitivo de arrendamento. Isso leva cerca de 28 meses, no mínimo, e frequentemente cinco anos ou mais, caso haja contestação judicial. Os TUPs (Pecém, Açu, Porto Central) utilizam o regime de autorização mais flexível, com duração média de cerca de 16 meses (variação de 6 a 26). O licenciamento ambiental é obrigatório, separado e, em grande parte, ainda não testado para a energia eólica offshore — a primeira licença desse tipo no Brasil só foi concedida em junho de 2025 —, de modo que os portos que já possuem uma licença relevante estão em melhor posição do que aqueles que precisam obter uma nova. Essas etapas ocorrem nos anos que antecedem a construção e podem prolongar o prazo total de entrega em vários anos.

Os prazos apresentados neste estudo representam apenas durações indicativas e estão sujeitos a variações significativas, dependendo, por exemplo, das condições de mercado, da disponibilidade de financiamento e dos resultados de estudos de projeto e viabilidade mais detalhados.

4.2 Resumo das visitas ao local

Foram realizadas visitas ao local em cinco dos portos pré-selecionados durante o período de 16 a 25 de março de 2026, constituindo um componente essencial da avaliação detalhada dos portos. O Porto Central foi avaliado por meio de uma reunião online, em vez de uma visita física ao local, devido ao estágio inicial de desenvolvimento físico do porto. Embora a análise documental, as respostas às solicitações de informações (RfI) e os Planos Diretores Portuários tenham fornecido uma sólida base analítica, as visitas permitiram a verificação direta das condições físicas e uma compreensão mais precisa de onde, dentro de cada porto, as atividades de energia eólica offshore poderiam ser realisticamente acomodadas.

Durante cada visita, a equipe da COWI avaliou as condições atuais das estruturas portuárias relevantes, do pavimento, das áreas de armazenamento, das vias de acesso e dos serviços públicos, além de coletar parâmetros quantitativos que não estavam totalmente disponíveis na documentação pública ou nas respostas às solicitações de informações (RfI). Discussões aprofundadas com as equipes de gestão portuária proporcionaram uma visão qualitativa sobre as barreiras percebidas à entrada no mercado de energia eólica offshore, incluindo restrições regulatórias, considerações comerciais, usos concorrentes do solo e limitações dos contratos de arrendamento, bem como as ambições de desenvolvimento de cada porto e os modelos preferidos de propriedade e execução. Os portos também compartilharam desenhos de engenharia,

documentos de planejamento e projetos de desenvolvimento que serviram como contribuições diretas para os conceitos de modernização apresentados neste capítulo.

Um resultado fundamental das visitas foi a identificação de oportunidades para alinhar as melhorias propostas para a energia eólica offshore com projetos de expansão portuária já planejados, reduzindo as necessidades gerais de capital. Em vários casos, as discussões também exploraram soluções transitórias ou em fases, incluindo o uso temporário de áreas subutilizadas ou o uso compartilhado da infraestrutura existente.

Tabela 4-1 Visão geral das visitas in loco e dos participantes

Porto	Região	Tipo de envolvimento	Data da reunião	Participantes
Pecém	Nordeste	Visita ao local	16/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante portuário
Suape	Nordeste	Visita ao local	17/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante do porto
Açu	Sudeste	Visita ao local	19/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante do porto
Rio Grande	Sul	Visita ao local	23/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante do porto
Imbituba	Sul	Visita ao local	24/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante do porto
Porto Central	Sudeste	Reunião online*	25/03/2026	COWI, Embaixada da Dinamarca em Brasília, Ministério dos Portos e representante do porto



Figura 4-1 Foto da visita ao Porto de Pecém (16/03/2026). Foto de autoria da COWI.

4.3 Pecém

4.3.1 Visão geral do porto

O Porto de Pecém está localizado no Estado do Ceará e é operado pelo Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP), uma joint venture entre o Governo do Estado do Ceará e o Porto de Roterdã. Conforme discutido no Capítulo 3, a posição geográfica de Pecém em relação às zonas eólicas offshore propostas para o Nordeste está entre as mais favoráveis dos portos pré-selecionados, com os locais potenciais para parques eólicos offshore mais próximos situados a aproximadamente 200 km.

Pecém é um porto offshore, protegido por um quebra-mar externo em forma de L e conectado ao continente por duas pontes. O porto foi originalmente construído em 1999 e ampliado entre 2008 e 2016. Uma visão geral do layout do porto é apresentada em Figura 4-2 .

Tradicionalmente, o porto atende operações de carga a granel seca, carga fracionada, contêineres, carga geral e carga líquida a granel. As embarcações descarregam sua carga nos cais offshore; em seguida, os materiais são transportados para terra firme por meio de pontes, no caso de cargas a granel sólidas, e por dutos, no caso de cargas líquidas a granel.

O porto abriga um cluster de empresas que fabricam pás para turbinas eólicas em terra, o que lhe confere experiência direta no manuseio de componentes eólicos, incluindo pás e seções de torre associadas a turbinas da classe de 6 a 8 MW. A escala desses componentes se alinha bem com o tamanho típico dos componentes de energia eólica offshore Nearshore (Tabela 2-2). Esses componentes representam a carga mais pesada (600 toneladas) transportada pelas pontes de acesso existentes (ver Figura 4-2).



Figura 4-2 : Planta geral do Porto de Pecém derivada de imagens de satélite (Google Earth)

4.3.2 Instalações portuárias existentes

Conforme mencionado anteriormente, o porto é protegido por um quebra-mar externo em forma de L, com comprimento total de aproximadamente 2,8 km, e conectado à terra firme por duas pontes com comprimentos de 1,5 e 2,5 km, respectivamente.

O porto pode acomodar embarcações com as seguintes dimensões de projeto:

- Comprimento x Largura x Calado => 366 m x 50 x 15,3 m

As instalações de atracação do porto compreendem um total de 10 berços operacionais, distribuídos por dois cais principais (ver Cais 1 e 2 em Figura 4-2) e pelo Terminal Multiuso (ver TMUT em Figura 4-2). As características técnicas dos berços estão resumidas em Tabela 4-2.

Tabela 4-2 : Características técnicas dos berços – Porto de Pecém

N.º do cais	Operações / Carga	Comprimento [m]	Profundidade [m]	Capacidade de carga [tm/m²]	Área do pátio
1 e 2 (Cais 1)	Carga a granel sólida	350	-	Desconhecido	n/a – esteiras transportadoras
3 e 4 (Cais 2)	Granéis líquidos	400	15,5	n/a	n/a
5, 6 e 7 (TMUT)	Carga Geral	250	15,6	10	~ 10
8 (TMUT)	Carga Geral	250	15,6	10	

9 (TMUT)	Contêiner	300	15,6	10	
10 (TMUT)	Contêiner	300	15,6	10	

O TMUT dispõe de uma área limitada de armazenamento offshore de aproximadamente 10 ha. Os cais 9 e 10 e os 2 ha adjacentes são destinados exclusivamente a contêineres e estão sob um contrato de arrendamento de longo prazo. Os demais cais e áreas do TMUT são operados pelo porto e destinados ao armazenamento de curto prazo ou transitório, o que pode representar uma oportunidade para a energia eólica offshore. Atualmente, todos os cais apresentam alta taxa de ocupação. Em terra, o porto oferece um pátio de armazenamento e armazéns em uma área de aproximadamente 40 hectares (consulte Figura 4-3). Toda a carga armazenada em terra é transportada por caminhões através das pontes.

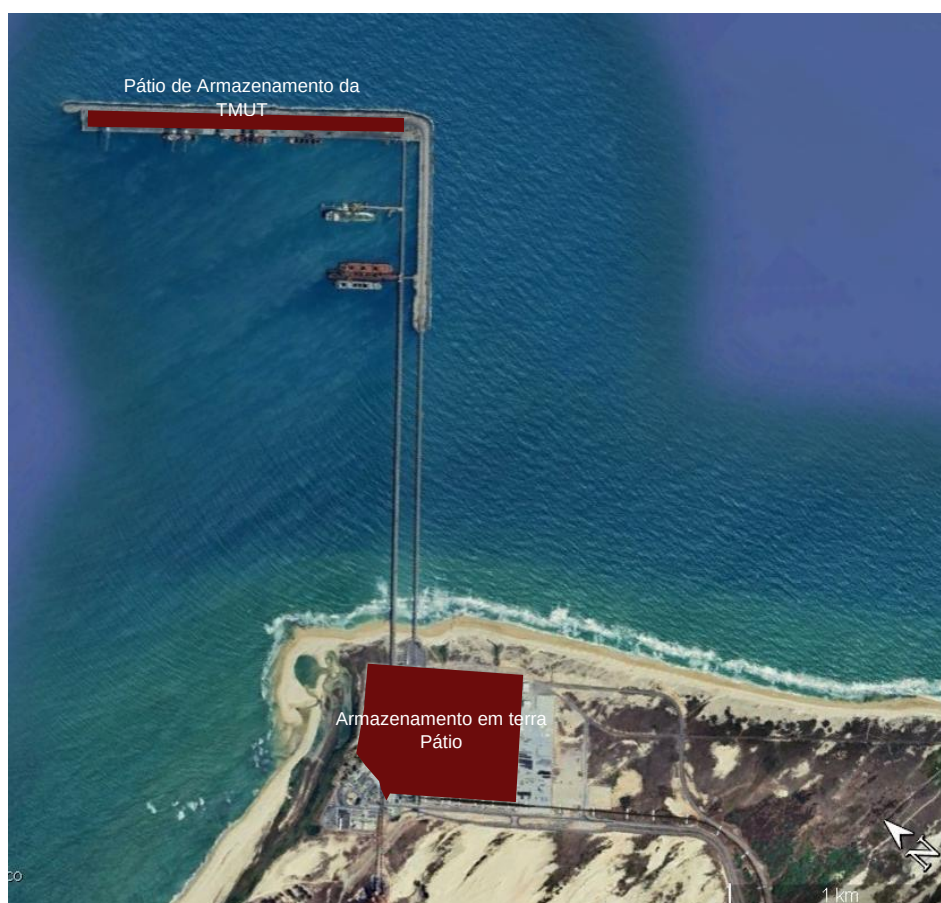


Figura 4-3 : Área de armazenamento existente no Porto de Pecém (Fonte: Google Earth Pro, Data da imagem de satélite: 15/11/2023)

4.3.3 Plano Diretor do Porto

O Porto de Pecém traçou uma estratégia de expansão de longo e curto prazo com o objetivo de aumentar sua capacidade total e fortalecer seu papel como polo estratégico industrial e logístico na região.

No curto a médio prazo, o porto está planejando duas importantes ampliações da infraestrutura offshore: uma extensão do cais existente da TMUT (Cais 11) e a construção de um novo Cais 0. Conforme mostrado na parte superior da imagem Figura 4-4 (em rosa), o Plano Diretor propõe um novo terminal eólico offshore a ser localizado na parte posterior do cais TMUT existente, posicionando-o na extremidade externa da estrutura offshore existente do porto e afastado dos principais cais operacionais.

A longo prazo, o Plano Diretor do porto prevê a construção de um novo quebra-mar externo, transformando a atual configuração em forma de L em uma em forma de F. Isso aumentaria significativamente a área abrigada do porto e criaria capacidade para cais adicionais. Em terra, o pátio de armazenamento atual ocupa aproximadamente 40 ha, com uma expansão planejada de mais 5 ha identificada no Plano Diretor, conforme indicado em Figura 4-4 .

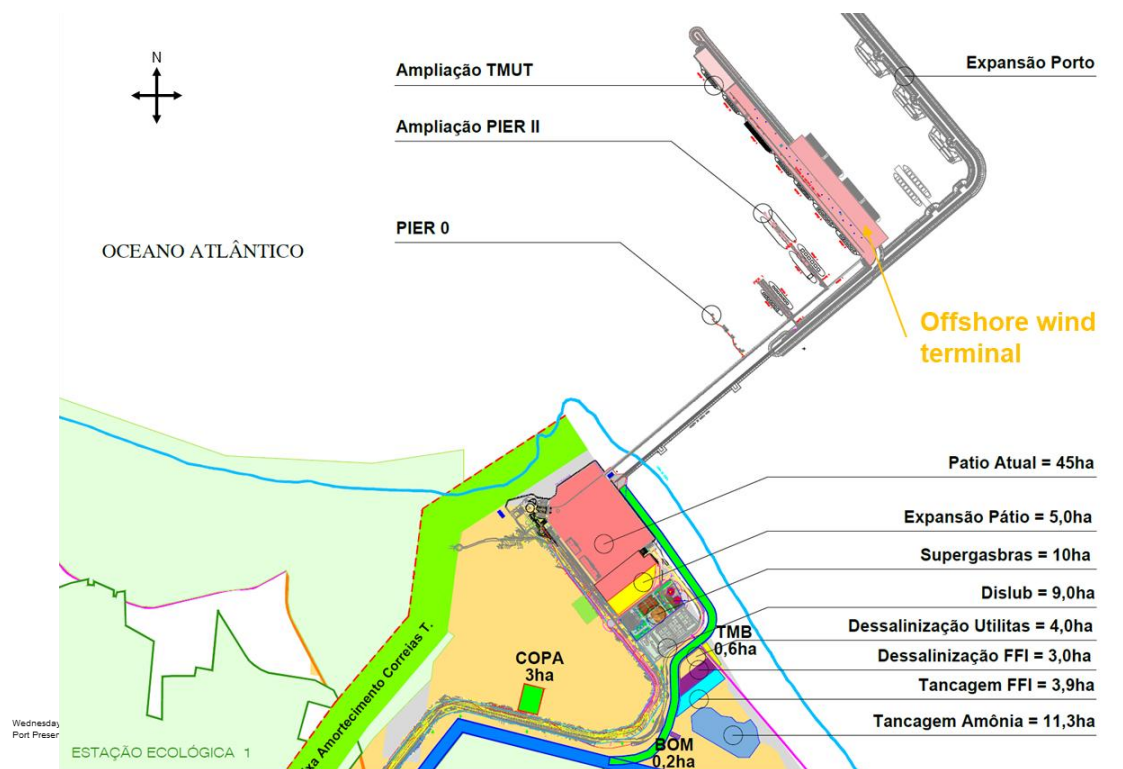


Figura 4-4 : Planta geral do Porto do Pecém – atual (rosa) x futuro (verde) (Fonte: Complexo Industrial e Portuário do Pecém e ZPE Ceará, 2026)

Em conjunto, esses planos de expansão refletem a ambição do porto de fortalecer sua posição nos mercados existentes, ao mesmo tempo em que desenvolve a capacidade para energia eólica offshore como uma diversificação estratégica. A inclusão de um terminal dedicado à energia eólica offshore no layout do Plano Diretor é um sinal notável da intenção de longo prazo do porto.

4.3.4 Análise de lacunas portuárias

Tabela 4-3 resume a análise de lacunas comparando a infraestrutura atual de Pecém com os requisitos de construção de projetos eólicos offshore de grande escala e nearshore utilizados neste estudo. As células da tabela são codificadas por cores para indicar o grau de restrição em relação ao parâmetro de referência da energia eólica offshore.

Tabela 4-3 Análise de lacunas do Porto de Pecém para Large Offshore. **Vermelho** = restrição significativa; **âmbar** denota uma restrição moderada que requer avaliação adicional; **amarelo** denota uma restrição potencial ou menor a ser monitorada.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Grandes instalações offshore	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque	km	< 200	<200	<200	Localização ideal para os parques

eólico offshore					eólicos offshore do Nordeste
Profundidade do canal	m LAT	19	> 12,5	8	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	800 *	> 200	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	650	400	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Comprimento do berço (TMUT)	m	1.500	400–500	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade no berço (TMUT)	m LAT	> 15	> 12	6	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Capacidade de suporte (TMUT)	t/m²	10	10-15	5	De acordo com o parâmetro de referência, não são necessárias medidas.
Reforço do leito marinho	-	Não	Necessário	Necessário	É necessária uma avaliação para determinar se será necessário o reforço do leito marinho para os pés da plataforma elevatória.
Área total do pátio existente	Ha	- 10 offshore - ~40 em terra	30-40	15-20	Embora a área de armazenamento existente no pátio atenda nominalmente aos requisitos, isso não reflete a disponibilidade real. Atualmente, essas áreas apresentam altas taxas de ocupação. Portanto, não há espaço disponível e é necessário um espaço de armazenamento dedicado para componentes eólicos offshore.

					Isso se aplica também à zona nearshore
--	--	--	--	--	--

* Na resposta fornecida à Solicitação de Informações (Rfi), foi indicada uma largura do canal de acesso de 170 m. O valor foi atualizado em junho de 2026 com base nos comentários recebidos pelo Porto de Pecém sobre a versão preliminar do relatório.

Os resultados da tabela mostram que, embora a infraestrutura existente de Pecém seja adequada para a energia eólica offshore, surgem as seguintes restrições principais:

- Área do pátio: a área de armazenamento offshore existente (10 ha) está bem abaixo do padrão de referência de 30 a 40 ha para atividades de descarga, armazenamento, pré-montagem e carregamento, e está atualmente totalmente ocupada. O pátio de armazenamento em terra, de 40 ha, também apresenta alta ocupação. Seria, portanto, necessário um espaço de armazenamento dedicado para componentes de energia eólica offshore. Isso se aplica tanto aos cenários de desenvolvimento offshore quanto aos nearshore.
- Ponte de acesso: todos os movimentos de componentes entre os cais offshore e o pátio de armazenamento em terra devem atravessar a ponte existente, o que introduz complexidade logística e riscos que não estão alinhados com as melhores práticas da energia eólica offshore, que buscam minimizar os movimentos internos de componentes por meio do depósito direto no cais e de sequências simplificadas de manuseio.

4.3.5 Requisitos de Conceito e Modernização – Large Offshore

4.3.5.1 Large Offshore – Layout conceitual

O Porto de Pecém ocupa uma posição estratégica em relação às zonas potenciais de energia eólica offshore na região Nordeste e manifestou uma clara ambição de desempenhar um papel na construção de projetos eólicos offshore.

Para concretizar plenamente essa ambição, é necessário implementar a estratégia de expansão de longo prazo.

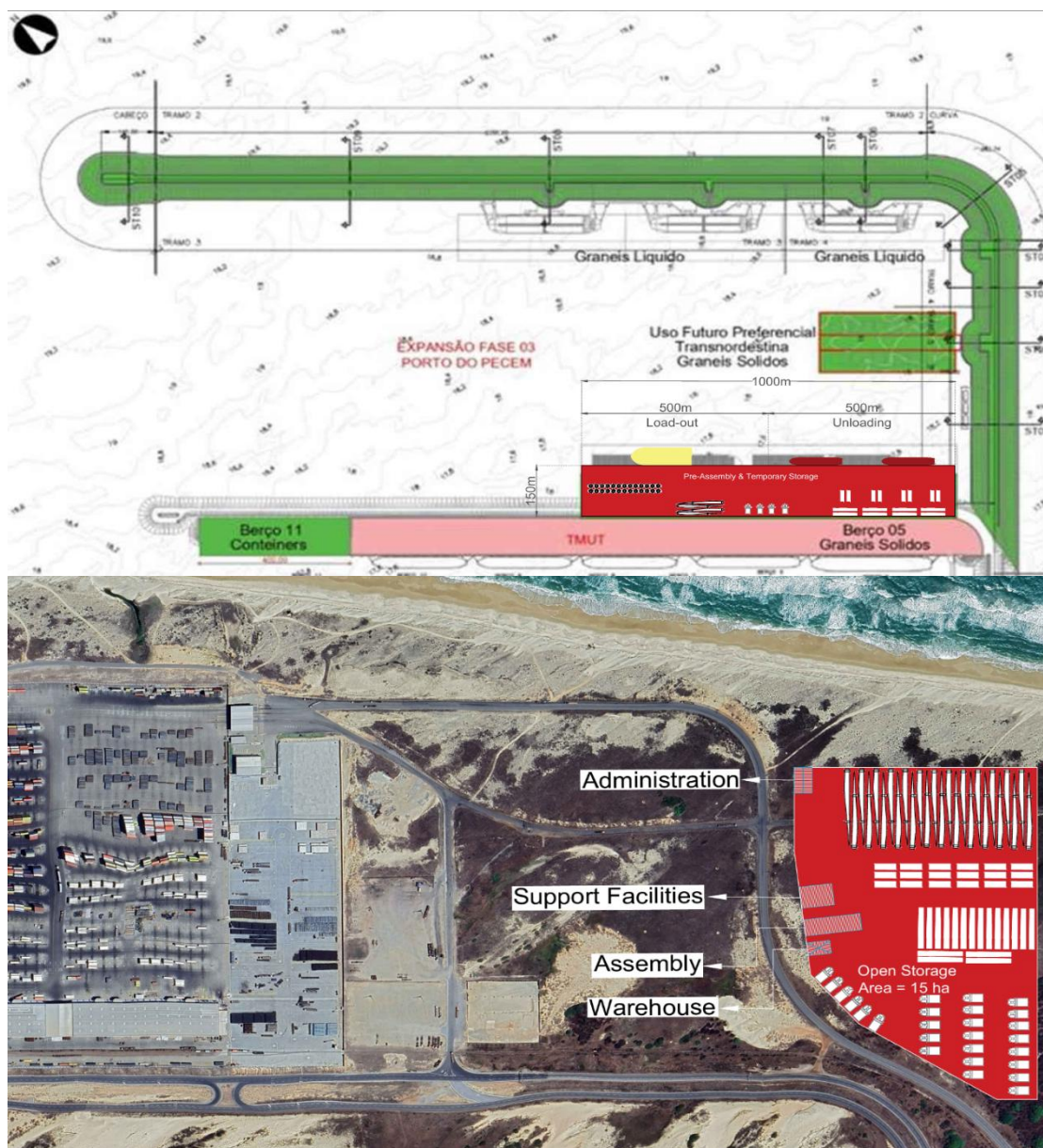


Figura 4-5 : Conceito de porto para construção de parques eólicos offshore do Porto de Pecém

A figura acima mostra um conceito de extensão do quebra-mar externo (em forma de F) com a implantação de um terminal dedicado à energia eólica offshore (acima, em Figura 4-5), além de uma área adicional de armazenamento em terra (abaixo, em Figura 4-5).

O conceito apresentado está alinhado com o Plano Diretor do porto e aborda parcialmente as preocupações levantadas na Seção 4.3.4 a respeito do espaço de armazenamento disponível. A solução combina uma área de armazenamento e pré-montagem offshore de 15 ha — localizada na plataforma recuperada do cais e destinada principalmente a operações de carga, descarga e pré-montagem — com mais 15 ha de pátio de armazenamento em terra, totalizando aproximadamente 30 ha. Essa área combinada atende aos requisitos de referência recomendados para grandes projetos de energia eólica offshore (OW), embora seja necessária uma gestão logística cuidadosa, uma vez que os componentes devem ser transportados entre o pátio em terra e o berço offshore por meio da ponte de acesso. A largura do cais de 150 m oferece espaço suficiente para operações com SPMTs e armazenamento temporário de componentes adjacentes ao berço.

O conceito de terminal eólico offshore, conforme mostrado em Figura 4-5 , teria as seguintes características principais:

Tabela 4-4 Principais características do conceito de Large Offshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-15 m LAT (sem necessidade de dragagem)
Área de armazenamento offshore	15 ha
Área de armazenamento em terra	15 ha
Comprimento e largura do cais	1.000 m x 150 m
Capacidade de carga do cais	10 a 15 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Large Offshore:**
 - Construção do cais (inclui 1 km de parede combinada ancorada e infraestrutura associada ao cais).
 - Recuperação de terras de 15 ha e melhoria do solo associada
 - Pavimentação e drenagem de 15 ha de terreno recuperado
 - Dragagem (pode ser combinada com dragagem de manutenção)
- **Ampliação do pátio de armazenamento em terra:**
 - Preparação de 15 ha e melhoria do solo associada (se necessário)
 - Pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra de 15 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

A solução preferida pelo porto prevê manter intacto o quebra-mar externo existente (1 km) e cobri-lo com aterro hidráulico para formar o novo terminal. Existe o risco de um possível conflito entre a futura parede combinada (por exemplo, ancoragem) e os materiais do quebra-mar existente, o que deve ser investigado na fase de projeto. Além disso, pode ser necessária a construção de uma nova ponte de acesso com maior capacidade de carga para transportar componentes pesados de turbinas eólicas offshore de e para o pátio de armazenamento.

De modo geral, a expansão planejada aumenta significativamente a capacidade de Pecém de acomodar atividades de construção eólica offshore em grande escala e, se implementada, posicionaria o porto como um importante centro de construção e organização para a região Nordeste.

4.3.5.2 Large Offshore – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização de Pecém, foi elaborada uma visão geral dos custos indicativos de construção e um cronograma de desenvolvimento para a realização de um terminal para grandes projetos eólicos offshore.

Tabela 4-5 mostra a estimativa de custos para o terminal de energia eólica offshore em Pecém.

Tabela 4-5 : Estimativa indicativa de custos para o terminal de grandes navios offshore – Porto de Pecém

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	1,5
2	Construção de parede de cais	65
3	Recuperação de terras e preparação do solo	82,5
4	Pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento offshore	21

5	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra	23
6	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	12
7	Construção da ponte de acesso	125
8	Montagem e desmontagem (8%)	26,5
TOTAL		356,5

A estimativa inclui uma nova ponte de acesso. Caso a ponte existente seja considerada adequada após avaliação, os custos seriam reduzidos consideravelmente, uma vez que a ponte representa aproximadamente US\$ 125 milhões do total.

A partir dos itens de construção em Tabela 4-5, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que constituem o caminho crítico, conforme ilustrado na figura abaixo.

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5		YEAR 6		YEAR 7	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Dredging														
2	Land reclamation and soil preparation														
3	Quay wall construction														
4	Pavement and drainage - offshore storage yard														
5	Soil preparation, pavement and drainage - onshore storage yard														
6	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing														
7	Access bridge construction														
8	Commissioning														

Figura 4-6 Cronograma indicativo de construção para o grande terminal de OW – Porto de Pecém

Foi prevista uma margem de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do solo e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

Observe que a construção do novo quebra-mar externo em forma de F não está incluída na estimativa de custo e cronograma, uma vez que faz parte do Plano Diretor Portuário existente. Trata-se, no entanto, de uma importante restrição do programa, pois o novo quebra-mar externo precisará estar parcialmente instalado antes que as atividades de construção do terminal OW proposto possam ter início.

4.3.6 Conceito e Requisitos de Modernização – Nearshore

A concretização da estratégia de expansão portuária de longo prazo de Pecém exigirá vários anos de desenvolvimento e um portfólio de projetos confirmado. No curto prazo, no entanto, há oportunidades para ampliar as capacidades terrestres existentes e apoiar empreendimentos na zona costeira, o que requer níveis de investimento mais baixos e prazos de implementação mais curtos. Isso pode servir como uma fase intermediária antes da implementação completa da solução descrita na Seção 4.3.5. Assim, dois cenários são definidos para explorar como a energia eólica na zona costeira poderia ser acomodada no curto prazo:

- **Cenário Nearshore 1 – Desenvolvimento em um novo muro de cais:** uma área de atracação dedicada ao terminal Nearshore com um novo pátio de armazenamento em terra.

- **Cenário Nearshore 2 – Uso da infraestrutura marítima existente em conjunto com armazenamento em terra:** as atividades de energia eólica offshore são acomodadas na área existente de atracação e terminal da TMUT, compartilhando instalações com outros operadores de terminal.

4.3.6.1 Cenário Nearshore 1 – Layout conceitual

O primeiro conceito (apresentado em Figura 4-7), alinhado ao plano de desenvolvimento de curto prazo do porto, consiste em um novo muro de cais construído entre as instalações da TMUT e do Pier 2. Essa ampliação permitiria ao porto acomodar atividades eólicas em águas rasas e, ao mesmo tempo, aumentar sua capacidade de movimentação.

É importante observar que o layout proposto é de natureza conceitual e precisará ser coordenado com os empreendimentos existentes e planejados no local. Em particular, deve-se levar em consideração o cais para rebocadores atualmente em construção no mar e a área de armazenamento em terra atualmente reservada para tanques de amônia, sendo que esta última precisaria ser realocada.



Figura 4-7 : Conceito do Cenário Nearshore 1 do Porto de Pecém (Google Earth)

O conceito aborda apenas parcialmente as preocupações levantadas na Seção 4.3.4, notadamente o espaço disponível para armazenamento e montagem de componentes de turbinas eólicas. Portanto, ainda é necessário espaço adicional de armazenamento em terra, e a ideia de utilizar a ponte de acesso para transportar componentes de e para o pátio de armazenamento seria mantida.

O conceito proposto para o terminal eólico nearshore, conforme mostrado na Figura 4-7, teria as seguintes características principais:

Tabela 4-6 Principais características do conceito Nearshore 1

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-15 m LAT (em linha com as estruturas existentes)
Área de armazenamento offshore	3 ha
Área de armazenamento em terra	15 ha
Comprimento e largura do cais	340 x 90 m
Capacidade de carga do cais	10 t/m ²

As obras necessárias incluem o seguinte:

- **Terminal Nearshore:**
 - Construção do cais (inclui 340 m de parede combinada ancorada e equipamentos associados ao cais).
 - Recuperação de 3 ha de terreno e preparação do solo associada
 - Pavimentação e drenagem de 3 ha de terreno recuperado
 - Dragagem (pode ser combinada com dragagem de manutenção)
- **Ampliação do pátio de armazenamento em terra.**
 - Preparação do solo, pavimentação e drenagem de 15 ha do pátio de armazenamento em terra.
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

A solução preferida pelo porto inclui manter intacto o quebra-mar interno existente (340 m) e a parte final da ponte norte existente (consulte Figura 4-7). Essas estruturas formarão a nova área do terminal. Existe o risco de um possível conflito entre a futura parede combinada (por exemplo, ancoragem) e os materiais existentes. Essa solução também implicará que todas as operações de transporte de e para o TMUT e o terminal eólico próximo à costa ficarão restritas à ponte sul. Presume-se que essa ponte e as estradas tenham capacidade de suporte para suportar as cargas de transporte dos componentes das turbinas eólicas próximas à costa de e para o pátio de armazenamento. Todas as interfaces de projeto devem ser investigadas mais detalhadamente na fase de projeto.

4.3.6.2 Cenário Nearshore 1 – Custo e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral dos custos indicativos de construção e um cronograma de desenvolvimento para este cenário.

Tabela 4-7 apresenta a estimativa de custos para o Cenário 1 de energia eólica nearshore do Porto de Pecém.

Tabela 4-7 : Estimativa indicativa de custos para o cenário 1 de energia eólica offshore – Porto de Pecém

N.º	Custo de construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	0,5
2	Construção de parede de cais	29
3	Recuperação de terrenos e preparação do solo	17
4	Pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento offshore	4,5
5	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra	23

6	Edificações, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
7	Montagem e desmontagem (8%)	7
TOTAL		91

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-7, foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico, conforme mostrado abaixo.

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Dredging										
2	Land reclamation and soil preparation										
3	Quay wall construction										
4	Pavement and drainage - offshore storage yard										
5	Soil preparation, pavement and drainage - onshore storage yard										
6	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing										
7	Commissioning										

Figura 4-8 Cronograma indicativo de construção para o cenário 1 de energia eólica offshore - Porto de Pecém

Foi incluída uma margem de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.3.6.3 Cenário 2 de energia eólica nearshore – Layout conceitual

O segundo conceito para o projeto nearshore utiliza a infraestrutura existente do TMUT devido à adequada capacidade de carga e profundidade dos berços dessa infraestrutura, compartilhando instalações com outros operadores de terminais. Trata-se do ponto de entrada mais rápido e de menor custo e não exigiria nova infraestrutura marítima. No entanto, o impacto nas operações existentes do TMUT não deve ser subestimado: a reaproveitamento de parte do TMUT para energia eólica offshore teria efeitos significativos sobre outras operações de carga. A disponibilidade dos cais estaria sujeita a acordo com os usuários atuais do terminal. Também seria necessário armazenamento adicional em terra. Todas as operações de transporte entre o TMUT e o pátio de armazenamento em terra seriam gerenciadas por meio das pontes de acesso existentes.

O cenário Nearshore 2 terá as seguintes características principais:

Tabela 4-8 Principais características do conceito "Nearshore 2"

Elemento	Capacidade
Área de armazenamento em terra	15 ha

As obras necessárias incluem o seguinte:

- Preparação do solo, pavimentação e drenagem de um pátio de armazenamento em terra de 15 ha.
- Construção de edifícios, instalação de iluminação, obras elétricas, estacionamento e cercas

4.3.6.4 Cenário Nearshore 2 – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral dos custos de construção e do cronograma de desenvolvimento como parte do projeto conceitual do Cenário 2 de nearshore.

Tabela 4-9 apresenta a estimativa de custos para o Cenário 2 do terminal eólico nearshore do Porto de Pecém.

Tabela 4-9 : Estimativa indicativa de custos para o terminal eólico nearshore 2 – Porto de Pecém

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra	23
2	Edificações, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
3	Montagem e desmontagem (8%)	2,5
TOTAL		35,5

Podem ocorrer custos adicionais decorrentes de pequenas modificações/modernizações no cais para melhor acomodar os WTIVs e na infraestrutura associada ao cais, a fim de facilitar as operações de descarga e carregamento. Esses custos não foram incluídos na estimativa.

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-9, foi elaborado abaixo um cronograma geral para as principais obras que constituem o caminho crítico.

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Soil preparation, pavement and drainage - onshore storage yard						
2	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing						
3	Commissioning						

Figura 4-9 Cronograma indicativo de construção para o Cenário Nearshore 2 – Porto de Pecém

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.3.7 Considerações sobre O&M

Pecém está bem posicionado para servir como um centro de O&M para a região Nordeste, dada sua proximidade com os potenciais locais de parques eólicos offshore (OWF) do Nordeste. Os requisitos de infraestrutura de O&M são menos exigentes do que os requisitos portuários para construção e poderiam ser acomodados em qualquer um dos três conceitos de desenvolvimento acima, sem a necessidade de um cais independente, já que o porto dispõe de cais menores em número suficiente. Os requisitos típicos incluem o seguinte:

- Berço dedicado capaz de acomodar CTVs ou SOVs
- Terreno disponível tanto para escritórios quanto para oficinas
- Pátio de armazenamento para guardar peças de reposição para parques eólicos offshore.

O custo indicativo para as provisões acima é de aproximadamente 20 milhões de dólares americanos. Isso pressupõe que o terreno de armazenamento desenvolvido como parte dos cenários de construção possa ser compartilhado para componentes de O&M.

4.3.8 Resumo

Tabela 4-10 resume os custos, o cronograma de construção e apresenta observações importantes relacionadas às soluções propostas.

Tabela 4-10 : Resumo das soluções propostas – Porto de Pecém

Esboço conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Large Offshore (15 MW)	356,5	6,5 anos	Alinhado com o Plano Diretor Portuário e o plano de negócios de longo prazo. Propõe um terminal dedicado ao desenvolvimento de energia eólica offshore. Exigirá um grande desenvolvimento portuário e uma nova ponte de acesso, a menos que um estudo logístico e uma avaliação das condições determinem que a ponte de acesso atual seja adequada. Requer espaço adicional de armazenamento em terra (mín. 15 ha). No geral, é a solução mais cara, que exigirá um fluxo constante de projetos de energia eólica offshore para garantir a viabilidade.
Nearshore 1 (6-8 MW)	91	4,5 anos	Propõe um terminal dedicado para empreendimentos eólicos nearshore. A manobra de embarcações no local de atracação confinado exigirá validação por meio de estudo de navegação. Possível conflito com empreendimentos existentes no local e operações portuárias. Requer espaço adicional de armazenamento em terra (mín. 15 ha). Solução mais econômica que pode permitir que Pecém aproveite as oportunidades de energia eólica nearshore na região Nordeste.
Nearshore 2 (6–8 MW)	35,5	2,5 anos	Propõe o compartilhamento das instalações existentes com vários operadores de terminais. Ainda exigirá o desenvolvimento de armazenamento em terra adicional. É a opção mais econômica, mas está sujeita à disponibilidade de berços e pode afetar a operação de outros usuários da TMUT, bem como os prazos de construção dos projetos Nearshore.
O&M	10–20	-	Pecém está bem posicionada para atuar como um centro de O&M para a região Nordeste. As instalações de armazenamento de O&M serão integradas a um dos três cenários de construção acima.

Figura 4-10 apresenta uma visão geral gráfica dos resultados apresentados na Seção 4.3.8 .

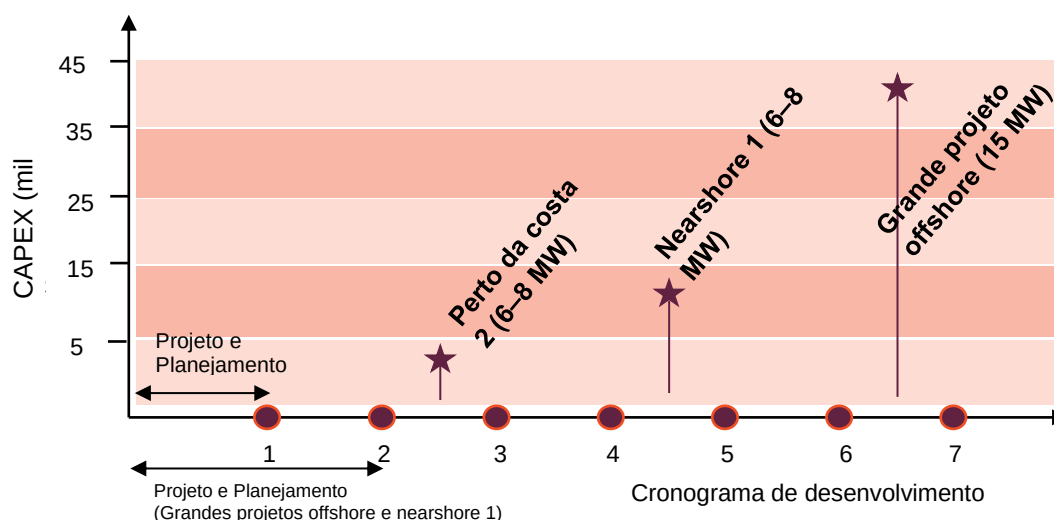


Figura 4-10 : Resumo das conclusões - Porto de Pecém

4.4 Suape

4.4.1 Visão geral do porto

O Porto de Suape está localizado no Estado de Pernambuco e é operado pelo Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros (SUAPE). Suape é um dos portos públicos mais movimentados do Brasil e representa um dos mais importantes centros industriais e logísticos do Nordeste brasileiro, dando suporte a atividades em grande escala nas áreas industrial, energética e de cargas a granel.

Suape é um complexo portuário industrial mais amplo. A Zona Industrial Portuária (ZIP), definida no Plano Diretor SUAPE 2035, regula o uso do solo em todo o complexo e inclui áreas tanto dentro quanto fora dos limites do Porto Organizado, em coordenação com o PDZ. A ZIP inclui os estaleiros VARD Promar e Estaleiro Atlântico Sul (fora do Porto Organizado), cuja experiência industrial e de apoio marítimo é compatível com a cadeia de suprimentos da energia eólica offshore e que possuem acesso operacional às águas abrigadas do porto.

O porto é protegido por uma combinação de elementos de proteção naturais e artificiais que definem sua interface marinha. A principal estrutura de proteção é o quebra-mar externo, que oferece proteção às embarcações que operam na zona externa do porto e garante a navegação segura dentro do canal de acesso. Além disso, um recife natural contribui para a atenuação das ondas na entrada do porto, enquanto estruturas de proteção na entrada da zona interna do porto permitem o acesso controlado à bacia protegida. Uma visão geral do layout e da configuração geral do porto é apresentada em Figura 4-11 .

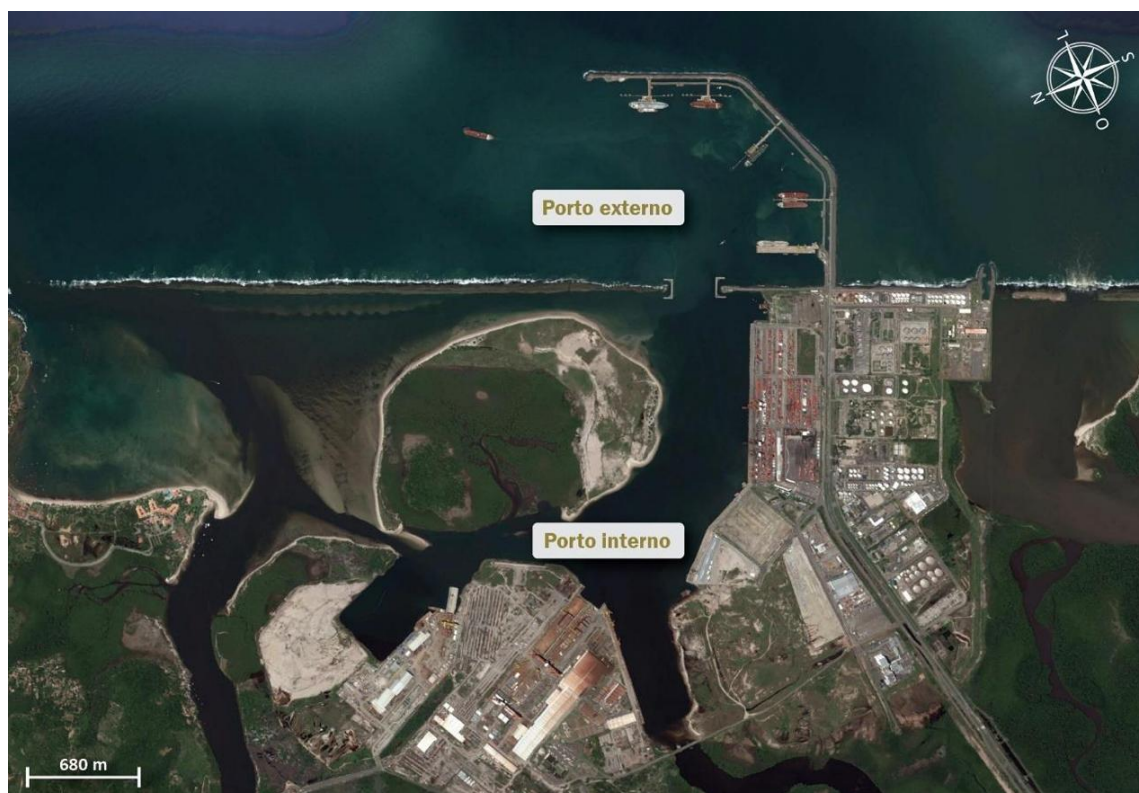


Figura 4-11 : Divisão atual do Porto de Suape em Porto Externo e Porto Interno. Fonte: (Ministério da Infraestrutura, 2019)

Conforme ilustrado na Figura 4-11 , a infraestrutura de atracação de Suape está organizada em um porto externo e um porto interno, atendendo a uma gama diversificada de tipos de carga. O porto externo, protegido pelo quebra-mar externo, acomoda principalmente operações de granéis líquidos e instalações multifuncionais, enquanto o porto interno está configurado para lidar com contêineres, carga geral e atividades de granéis sólidos.

O Complexo de Suape abriga um cluster de empresas que fabricam componentes para parques eólicos, incluindo torres e pás. Essas empresas, particularmente as que fabricam equipamentos, constituem a principal base de fornecimento para o setor de energia eólica onshore em todo o estado de Pernambuco.

4.4.2 Instalações portuárias existentes

Suape é um complexo portuário industrial de águas profundas e protegido. O porto pode receber embarcações com as seguintes dimensões de projeto:

- Comprimento x Largura x Calado => 366 m x 52 x 15 m

Porto Externo

No porto externo, há quatro molhes para granéis líquidos, um cais multiuso e tanques flutuantes de GLP. Essas instalações (consulte Figura 4-12) foram projetadas principalmente para o manuseio de granéis líquidos, incluindo derivados de petróleo, produtos químicos e etanol. A instalação flutuante de armazenamento de GLP dá suporte a operações especializadas de granéis líquidos associadas aos setores regional de energia e petroquímico.

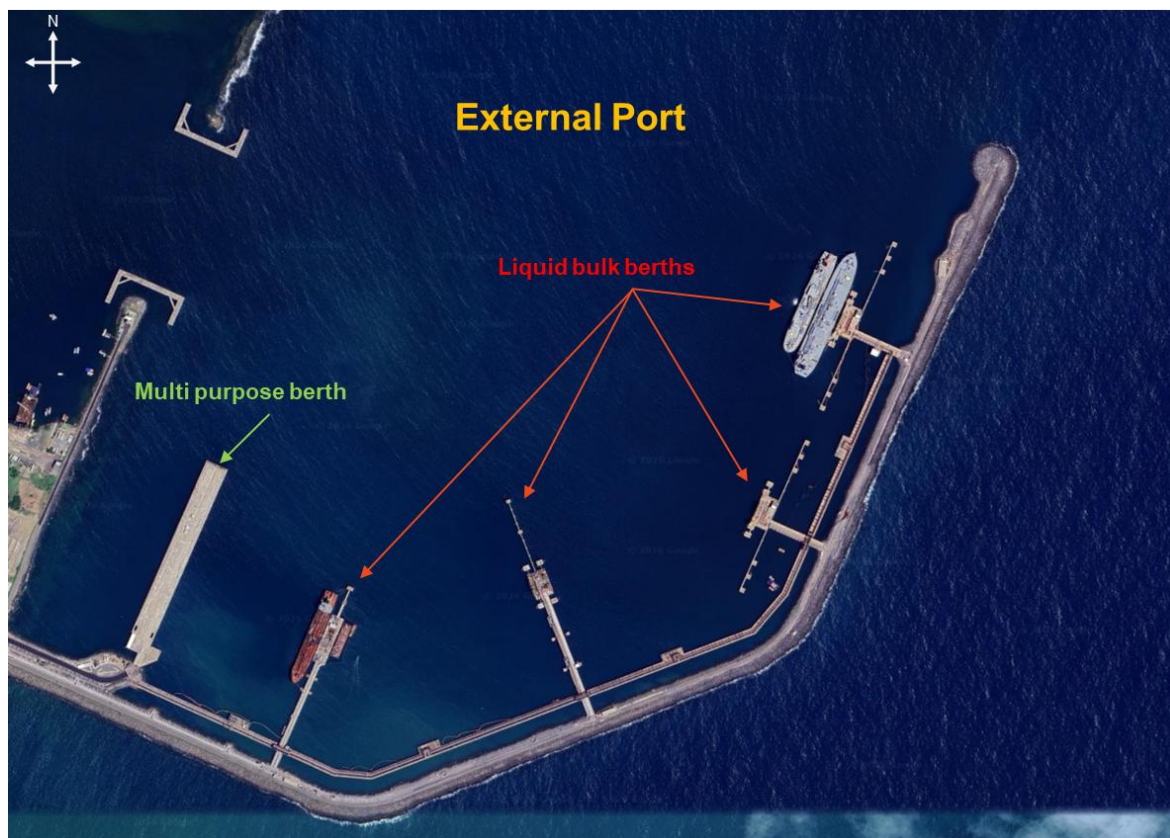


Figura 4-12 : Porto de Suape – Porto externo (Fonte: Google Earth).

Porto Interno

O porto interno lida principalmente com contêineres, carga geral, RO-RO e granéis sólidos. Há cinco berços operacionais e terminais localizados além da entrada do porto interno. Figura 4-13 mostra uma visão geral da infraestrutura, enquanto Tabela 4-11 resume as características técnicas.

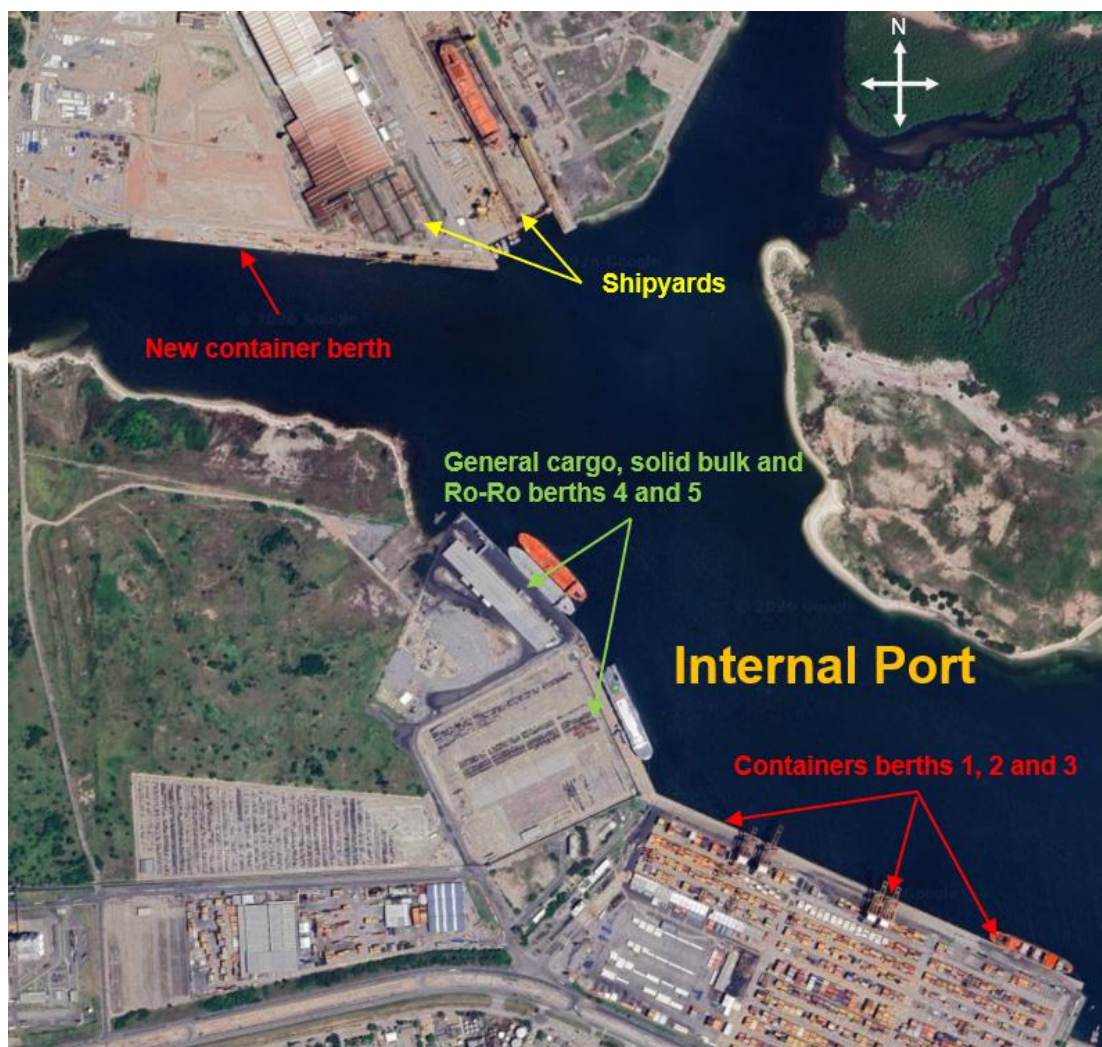


Figura 4-13 Porto de Suape – Porto Interno (Fonte: Google Earth).

Tabela 4-11 Características dos berços do porto interno

Nº do berço	Operações / Carga	Comprimento [m]	Profundidade [m]	Capacidade de carga [t/m ²]	Área do pátio [ha]
1	Contêineres	275	14,6	Desconhecido	8,5
2 e 3	Contêineres	650	14,5	5	28
4	Carga geral, granéis sólidos e Ro-Ro	300	14,8	5	10 (+ 8,5 adicionais)
5	Carga geral, granéis sólidos e Ro-Ro	300	15,0	5	7,5

O Berço 1 é um berço público projetado para o manuseio de carga geral e contêineres. No entanto, ele é utilizado principalmente para operações com contêineres. Os Berços 2 e 3 são dedicados exclusivamente ao manuseio de contêineres, com novos contratos de arrendamento de longo prazo a serem assinados em breve.

O Berço 4 é um berço público com prioridade para operações de veículos Roll-on/Roll-off (Ro-Ro) e manuseio de trigo a granel sólido. Ele também acomoda carga geral, com ênfase especial em produtos siderúrgicos. O Berço 5 também é dedicado principalmente ao manuseio de veículos e dá suporte às operações de açúcar ensacado.

Por fim, na extremidade leste do porto interno, fora dos limites do Porto Organizado, está localizado um estaleiro de propriedade privada. Entende-se que um novo terminal de contêineres será construído ao lado do estaleiro (ver Figura 4-13).

4.4.3 Plano Diretor Portuário

O Porto de Suape definiu uma estratégia de expansão de longo prazo em seu Plano Diretor Portuário, com o objetivo de aumentar significativamente sua capacidade de atracação e reforçar sua posição como um importante polo industrial. De acordo com o Plano Diretor Portuário, Suape identificou um caminho para expandir sua capacidade total de atracação para aproximadamente 23 berços, conforme mostrado em Figura 4-14 . Essa expansão reflete as ambições de crescimento de longo prazo do porto e sua intenção de acomodar novos segmentos de mercado. Algumas áreas inexploradas já foram destinadas a terminais industriais especializados. Um exemplo é a Ilha de Cocaia (marcada em Figura 4-14).

Um desses terminais destina-se ao manuseio de minério de ferro, enquanto o segundo está planejado para receber clínquer, escória e coque, cada um associado ao seu próprio cais dedicado. Esses terminais especializados estão planejados como empreendimentos de iniciativa privada.

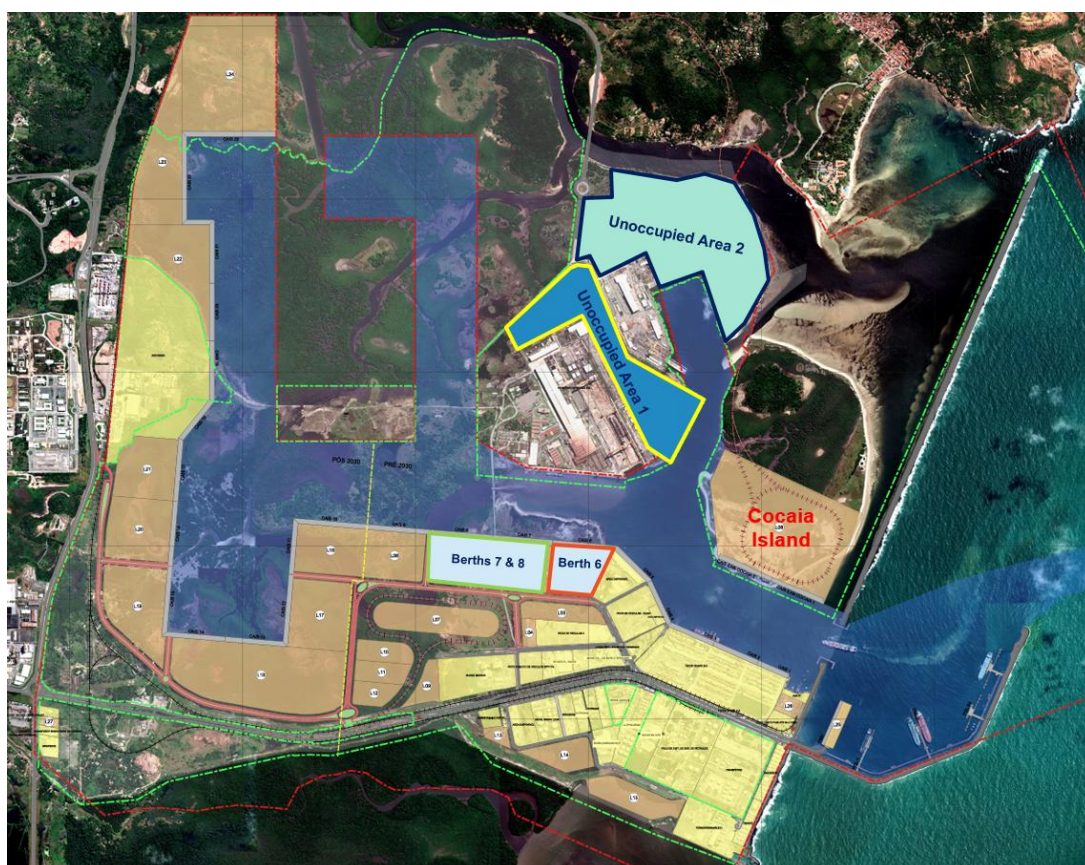


Figura 4-14 Planta futura do Porto de Suape - Fonte: (Suape - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, 2022)

As áreas de expansão identificadas no Plano Diretor do Porto representam uma oportunidade para integrar novas infraestruturas destinadas a terminais exclusivos para energia eólica offshore. No curto prazo, o porto está considerando o desenvolvimento do Berço 6 (ver Figura 4-14) e da área

atrás dele para o manuseio de cargas sólidas a granel vegetais, iniciativas de transição energética e projetos de combustíveis verdes. Os Berços 7 e 8 e a área alocada atrás deles podem representar uma oportunidade para um terminal eólico offshore, embora nenhuma disposição específica para energia eólica offshore esteja atualmente identificada no Plano Diretor.

Além disso, o porto indica que áreas atualmente desocupadas, localizadas fora dos limites do Porto Organizado, próximas aos estaleiros existentes (ver Figura 4-14), poderiam ser potencialmente disponibilizadas com necessidade limitada de realocação ou desmobilização das atividades existentes. Essas áreas também podem representar uma oportunidade para um terminal eólico offshore.

4.4.4 Análise de lacunas portuárias

Para desenvolver um terminal dedicado à energia eólica offshore, realiza-se primeiro uma análise de lacunas do estado atual do porto. Tabela 4-12 resume os principais requisitos funcionais que foram utilizados para avaliar a aplicabilidade da infraestrutura portuária existente do Porto de Suape em relação aos requisitos típicos de um grande porto de construção para projetos de energia eólica offshore e nearshore.

Tabela 4-12 : Análise de lacunas de Suape para grandes projetos eólicos offshore. **Vermelho** = restrição significativa; **âmbar** indica uma restrição moderada que requer avaliação adicional; **amarelo** indica uma restrição potencial ou menor a ser monitorada.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Grande EIE	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque eólico offshore	km	> 400	<200	<200	Localizado longe de potenciais parques eólicos offshore no norte. É necessária uma avaliação detalhada da logística e da viabilidade
Profundidade do canal	m LAT	16,2	> 12,5	8	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	250	> 200	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	650	400	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Comprimento do berço (TMUT)	m	1.500	400–500	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade nos berços	m LAT	> 15	> 12	6	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Capacidade de suporte (berços)	t/m ²	5	10-15	5	A capacidade de suporte não é suficiente para um grande terminal de águas abertas. Adequado apenas para áreas próximas à costa.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Grande EIE	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Reforço do leito marinho	-	Não	Necessário	Necessário	É necessária uma avaliação para determinar se será necessário o reforço do leito marinho para os pés da plataforma elevatória.
Área total do pátio existente	Ha	> 50	30-40	15-20	Embora a área de armazenamento existente no pátio atenda, teoricamente, à capacidade exigida, isso não reflete a disponibilidade real. Na prática, a maioria das áreas já está comprometida por contratos de locação de longo prazo ou operando com altos níveis de ocupação. Consequentemente, não há espaço adequado disponível no momento, e será necessário um espaço de armazenamento dedicado para componentes de energia eólica offshore. Isso se aplica também ao setor nearshore.

Os resultados da tabela (Tabela 4-12) mostram que, embora os requisitos de navegação de Suape sejam adequados, ainda existem restrições importantes:

- Distância até o parque eólico offshore (OWF): Conforme discutido no Capítulo 3, o Porto de Suape está localizado no limite externo do limite de distância aceitável em relação aos locais propostos mais próximos para parques eólicos offshore na região Nordeste. Embora o porto tenha sido selecionado com base em sua sólida infraestrutura e potencial de expansão, essa distância representa uma restrição logística significativa para grandes operações de construção de parques eólicos offshore. Recomenda-se, portanto, a realização de um estudo específico de logística e viabilidade como etapa inicial, antes de se comprometer com quaisquer investimentos de longo prazo em terminais eólicos offshore, a fim de confirmar se a distância pode ser gerenciada dentro de parâmetros aceitáveis de custo e cronograma.
- Capacidade de carga do cais: o cais existente é insuficiente para grandes operações eólicas offshore. Ele atende apenas aos requisitos mínimos para parques eólicos próximos à costa. Seria necessária uma grande reconstrução do cais (demolição e reconstrução) para grandes projetos eólicos offshore.
- Área de pátio: embora a área total do pátio portuário exceda 50 ha, todas as áreas existentes estão sujeitas a contratos de arrendamento de longo prazo ou apresentam altas taxas de ocupação. Atualmente, não há espaço disponível. Será necessário um novo espaço de armazenamento dedicado. Isso se aplica tanto ao projeto Large Offshore quanto ao Nearshore.

4.4.5 Requisitos de Conceito e Modernização – Large Offshore

4.4.5.1 Large Offshore – Layout conceitual

O Porto de Suape é um dos poucos portos de águas profundas da região Nordeste com potencial para atender ao setor de energia eólica offshore. Sua experiência atual com energia eólica onshore e o interesse manifestado pela energia eólica offshore fornecem uma base comercial.

No entanto, para concretizar essa ambição, é necessário desenvolver um novo terminal dedicado nas áreas de expansão identificadas no Plano Diretor, uma vez que não há nenhuma área de terminal disponível atualmente. Figura 4-15 mostra um conceito em que os cais 7 e 8 estão designados para desenvolvimento. Essas áreas estão localizadas dentro dos limites do Porto Organizado e estão em consonância com o desenvolvimento previsto no atual Plano Diretor do porto. Alternativamente, as áreas não desenvolvidas localizadas nas proximidades dos estaleiros existentes (ver Figura 4-14) podem ser consideradas para o desenvolvimento de um terminal eólico offshore. No entanto, essas áreas ficam fora dos limites do Porto Organizado, e não há informações disponíveis sobre seu uso e condição atuais. A viabilidade dessa área deve ser avaliada na próxima fase do estudo.

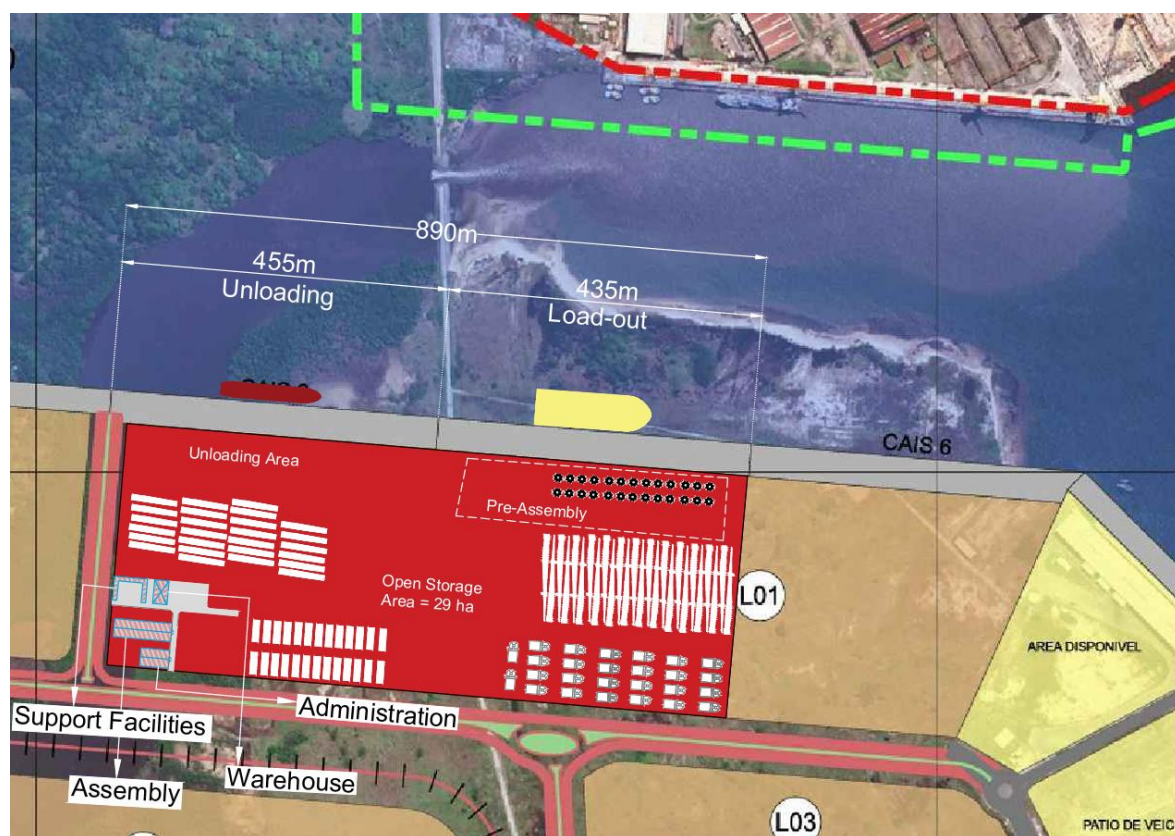


Figura 4-15 Conceito de porto de construção eólica offshore do Porto de Suape

O conceito apresentado em Figura 4-15 está alinhado com o Plano Diretor do porto e aborda as preocupações levantadas na Seção 4.4.4 , notadamente a necessidade de novo espaço de armazenamento e de um cais dedicado com capacidade de suporte adequada para atender a componentes pesados de energia eólica offshore.

O conceito proposto para o terminal eólico offshore, conforme mostrado em Figura 4-15 , teria as seguintes características principais:

Tabela 4-13 Principais características do conceito de grande terminal eólico offshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-14 m LAT
Área de armazenamento	29 ha
Comprimento e largura do cais	890 x 45 m
Capacidade de carga do cais	10 a 15 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Large Offshore:**
 - Grandes atividades de escavação e dragagem na área em frente à futura parede do cais
 - Construção do cais (inclui uma plataforma de 890 m de comprimento e 45 m de largura sobre uma estrutura de estacas e equipamentos associados ao cais, com reforço do leito marinho para as pernas de elevação dos WTIVs).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 29 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 29 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

Observe que, para chegar ao futuro muro do cais, o canal de acesso interno precisará ser ampliado. Essas atividades de dragagem não estão incluídas nas obras e devem fazer parte do Plano Diretor mais abrangente.

4.4.5.2 Large Offshore – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-14 mostra a estimativa de custos para um terminal OW no Porto de Suape.

Tabela 4-14 : Estimativa indicativa de custos para o terminal de OW – Porto de Suape

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	56
2	Construção de parede de cais	58
3	Área de preparação e melhoramento do solo	7
4	Pavimentação e drenagem da área do pátio	40,5
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	12
8	Montagem e desmontagem (8%)	14
TOTAL		187,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-14, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-16 .

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5		YEAR 6	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Excavation and Dredging												
2	Land reclamation and soil preparation												
3	Quay wall construction												
4	Pavement and drainage - storage yard												
5	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing												
6	Commissioning												

Figura 4-16 Cronograma indicativo de construção do terminal de OFW – Porto de Suape

Foi incluído um prazo de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do terreno e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses trâmites podem atrasar o início da construção.

Conforme mencionado anteriormente, a extensão do canal de acesso interno não está incluída na estimativa de custo e cronograma, uma vez que faz parte do plano mais amplo de expansão do porto. No entanto, isso impõe uma restrição ao cronograma do terminal e precisará ser considerado antes do desenvolvimento do mesmo.

4.4.6 Requisitos de Conceito e Modernização – Nearshore

Incluir um terminal dedicado em mar aberto como parte da estratégia de expansão portuária de longo prazo de Suape exigirá um investimento de capital significativo, juntamente com um cronograma de desenvolvimento mais longo. No entanto, ainda há uma oportunidade significativa para Suape ampliar sua capacidade atual em terra firme para acomodar empreendimentos na zona costeira. Portanto, dois cenários na zona costeira (Nearshore) são definidos:

- **Cenário Nearshore 1 – Desenvolvimento em um novo paredão:** Um novo terminal eólico nearshore dedicado, desenvolvido na área de expansão do Plano Diretor.
- **Cenário Nearshore 2 – Uso da infraestrutura marítima existente em conjunto com armazenamento em terra:** uso da infraestrutura de atracação existente para energia eólica nearshore, compartilhando instalações com os operadores atuais.

4.4.6.1 Cenário Nearshore 1 – Conceito e layout

Em consonância com o Plano Diretor do porto, o conceito proposto inclui o desenvolvimento do Berço 7 exclusivamente como um terminal dedicado à energia eólica nearshore. Trata-se de uma versão reduzida do conceito de grande terminal eólico offshore, que pode ser expandido posteriormente, se necessário — por exemplo, em caso de aumento da demanda por energia eólica offshore.

As melhorias propostas podem permitir que o porto atenda a potenciais Nearshore localizados na região sudeste.

O terminal eólico nearshore teria as seguintes características principais:

Tabela 4-15 Principais características do conceito Nearshore 1

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-14 m LAT (em alinhamento com as estruturas existentes)
Área de armazenamento	15 ha

Comprimento e largura do cais	435 x 45 m
Capacidade de carga do cais	10 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Nearshore:**
 - Grandes obras de escavação e dragagem na área em frente ao futuro muro do cais
 - Construção do cais (inclui uma plataforma de 435 m de comprimento e 45 m de largura sobre uma estrutura de estacas e equipamentos associados ao cais).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 15 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 15 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

As mesmas restrições, tal como no conceito de Large Offshore, para a dragagem do canal de acesso interno permanecerão e não foram incluídas na estimativa de custos nem no cronograma de construção.

4.4.6.2 Cenário Nearshore 1 – Custo e cronograma

Com base nos requisitos de modernização, Tabela 4-16 apresenta uma visão geral das estimativas de custo para o conceito proposto do cenário eólico nearshore 1.

Tabela 4-16 : Estimativa indicativa de custo para o cenário 1 de energia eólica nearshore – Porto de Suape

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	27,5
2	Construção de parede de cais	28
3	Preparação e melhoria do solo na área do pátio	3
4	Pavimentação e drenagem da área do pátio	18
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
6	Montagem e desmontagem (8%)	7
TOTAL		93,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-16, foi desenvolvido um cronograma de alto nível em Figura 4-17 , abrangendo as principais obras que compõem o caminho crítico.

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Excavation and Dredging										
2	Land reclamation and soil preparation										
3	Quay wall construction										
4	Pavement and drainage - storage yard										
5	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing										
6	Commissioning										

Figura 4-17 : Cronograma indicativo de construção para o Cenário Nearshore 1 – Porto de Suape

Foi incluída uma margem de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante

observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses trâmites podem atrasar o início da construção.

4.4.6.3 Cenário Nearshore 2 – Conceito e layout

O segundo cenário para o projeto eólico nearshore utiliza a infraestrutura existente. O cais 5 foi identificado como um candidato adequado para acomodar as atividades de construção do projeto eólico nearshore, desde que seja possível chegar a um acordo com os operadores dos terminais existentes. O cais possui comprimento e capacidade de carga adequados para descarregar e carregar os componentes necessários para o projeto nearshore. No entanto, ainda há restrições quanto à capacidade de armazenamento, e será necessário desenvolver áreas adicionais para resolver essa questão. As áreas L3, L4 e o Pátio de Veículos 2 foram identificadas para desenvolvimento, conforme mostrado em Figura 4-18, juntamente com o Cais 5 existente. Alternativamente, as áreas L10, L11 e L12, também mostradas em Figura 4-18, poderiam ser desenvolvidas. Em ambos os casos, as operações de transporte e logística devem ser investigadas mais detalhadamente na fase de projeto.



Figura 4-18 : Conceito do cenário 2 de energia eólica offshore do Porto de Suape

O conceito teria as seguintes características principais:

Tabela 4-17 Principais características do conceito Nearshore 2

Elemento	Capacidade
Área de armazenamento	15 ha
Utilização do cais existente	Berço nº 5 (capacidade de 5 t/m ²)

As obras necessárias para este projeto incluem:

- Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento de 15 ha.
- Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

Observe que podem ser necessárias pequenas melhorias/modificações na parede do cais, dependendo das condições do berço, bem como requisitos específicos relativos aos ventos costeiros (não incluídos no orçamento).

4.4.6.4 Cenário Nearshore 2 – Custo e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, Tabela 4-18 apresenta uma visão geral das estimativas de custo para o conceito proposto do Cenário Nearshore 2.

Tabela 4-18 : Estimativa indicativa de custos para o Cenário Nearshore 2 – Porto de Suape

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento	24,5
2	Edificações, iluminação, obras elétricas, estacionamento e cercas	10
3	Montagem e desmontagem (8%)	3
TOTAL		37,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-18, foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-19 .

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Soil preparation, pavement and drainage - onshore storage yard						
2	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing						
3	Commissioning						



Figura 4-19 Cronograma indicativo de construção para o Cenário Nearshore 2 – Porto de Suape

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.4.7 Considerações sobre Operação e Manutenção

Dada a distância de Suape em relação aos locais mais próximos do Parque Eólico Marinho do Nordeste (aproximadamente mais de 400 km), o porto não é considerado adequado para atividades de O&M que atendam a esses empreendimentos, uma vez que o tempo de trânsito diário para CTVs e SOVs seria operacionalmente impraticável.

4.4.8 Resumo

Tabela 4-19 resume os custos, o cronograma de construção e apresenta observações críticas pertinentes às soluções propostas.

Tabela 4-19 : Resumo das soluções propostas – Porto de Suape

Esboço conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Large Offshore (15 MW)	187,5	5,5 anos	A distância até os locais de parques eólicos offshore mais próximos (>400 km) é uma restrição significativa — é necessário um estudo de viabilidade logística específico

Esboço conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
			antes de se comprometer com o projeto. Essa é uma restrição fundamental para o desenvolvimento desta solução. Propõe um terminal específico para atender a grandes projetos eólicos offshore. Requer a ampliação do canal de acesso interno como parte da implementação mais ampla do Plano Diretor. É necessária a reconstrução do cais — a capacidade de suporte existente é insuficiente para o Large Offshore. No geral, é a solução mais cara, que exigiria um fluxo constante de projetos de energia eólica offshore para garantir sua viabilidade.
Nearshore 1 (6-8 MW)	93,5	4,5 anos	Propõe um terminal dedicado para empreendimentos eólicos nearshore. Requer a ampliação do canal de acesso interno d , como parte da implementação do Plano Diretor mais abrangente. Solução alternativa mais econômica que poderia permitir que Suape acomodasse oportunidades de energia eólica nearshore na região Nordeste e, potencialmente, evoluísse para a solução de energia eólica offshore caso haja demanda adequada do mercado.
Nearshore 2 (6–8 MW)	37,5	2,5 anos	Implica o compartilhamento das instalações existentes com outros operadores de terminais para aproveitar as oportunidades de energia eólica nearshore. O espaço limitado no cais e a disponibilidade de armazenamento adjacente podem restringir as atividades de construção de Nearshore e interferir nas operações de outros usuários do cais. Ainda seria necessário o desenvolvimento de uma área de armazenamento no interior. Oferece uma solução mais econômica caso haja infraestrutura de cais disponível para uso.
O&M	n/a	n/a	Não atende aos requisitos de distância para O&M. Não considerado adequado.

Figura 4-20 apresenta uma visão geral gráfica dos resultados apresentados na Seção 4.4.8 .

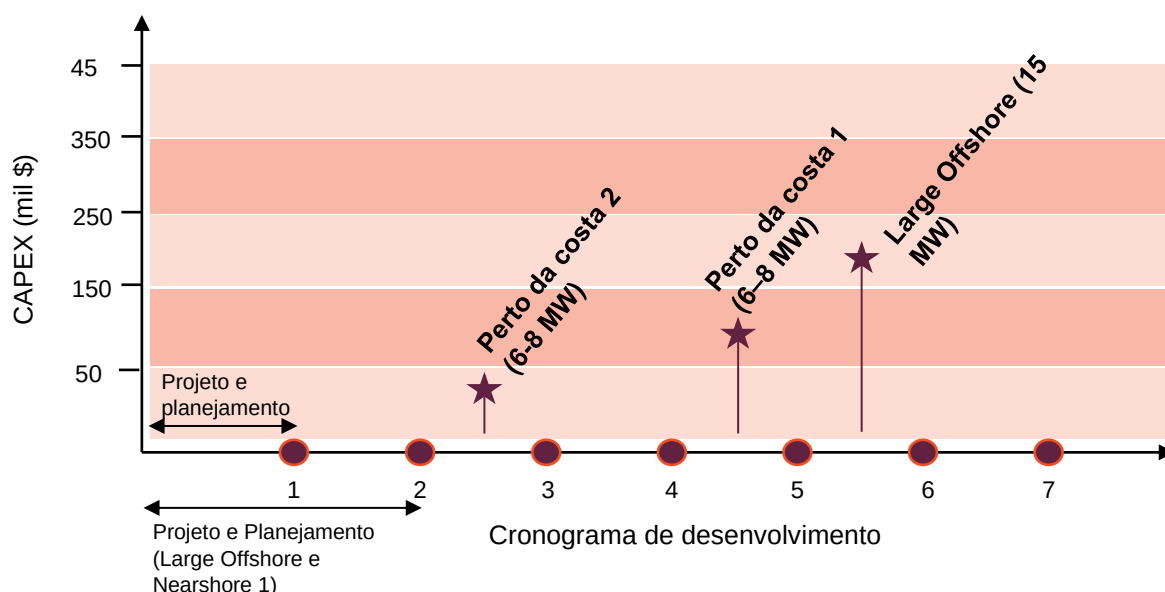


Figura 4-20 Resumo das conclusões - Porto de Suape

4.5 Porto Central

4.5.1 Visão geral do porto

O Porto Central está atualmente em desenvolvimento como um novo complexo portuário industrial de águas profundas em grande escala, localizado na costa sul do Espírito Santo. O porto está sendo desenvolvido pela Porto Central Complexo Industrial Portuário S.A., uma joint venture formada entre a empresa brasileira TPK Logística S.A. e a Autoridade Portuária de Roterdã.

O porto foi concebido como um empreendimento específico, com forte foco em atividades de carga industrial pesada, relacionadas à energia e de projetos. O conceito de desenvolvimento do Porto Central é apresentado na figura abaixo. O conceito de desenvolvimento está dividido em vários segmentos distintos, planejados para atender a mercados diversificados e a uma base de clientes flexível. Esses segmentos têm como objetivo acomodar uma ampla gama de atividades, incluindo, entre outras, terminais de graneis líquidos, terminais de contêineres, carga geral, estaleiros de construção naval, terminais de grãos, bases de abastecimento offshore e terminais de carvão e fertilizantes.

Figura 4-21 mostra o layout futuro do Porto Central.



Figura 4-21 : Layout futuro do Porto Central (Porto Central, s.d.)

O porto será desenvolvido em diferentes fases. A Fase 1 incluirá a construção da infraestrutura portuária necessária para abrigar um terminal de granéis líquidos em águas profundas. O porto obteve a licença ambiental de instalação exigida, autorizando o início das obras. As atividades de construção da Fase 1 tiveram início em janeiro de 2025. O cronograma para a primeira fase do porto prevê a conclusão das obras até meados de 2027, com o início das operações em dezembro do mesmo ano. O layout da Fase 1 é apresentado em Figura 4-22 .

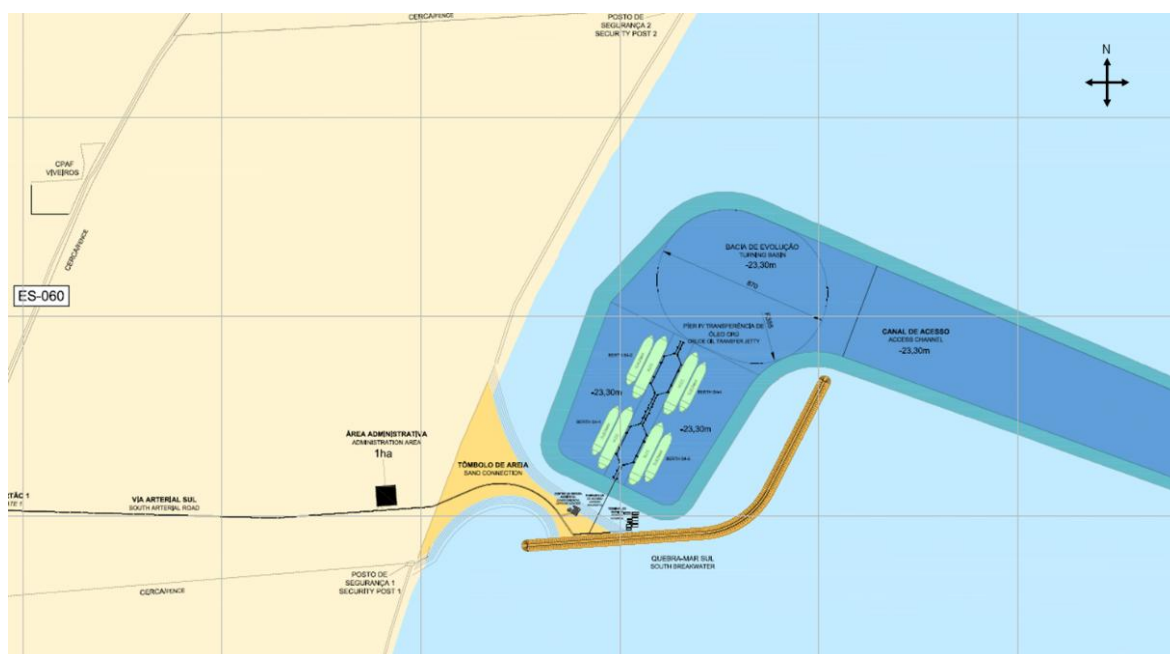


Figura 4-22 : Porto Central – desenvolvimento da Fase 1. Fonte (Porto Central, 2022a) .

4.5.2 Instalações portuárias existentes

O Porto Central está em construção e, portanto, ainda não está operacional. Não há cais, pátios de armazenamento, instalações de terminais ou infraestrutura de apoio disponíveis.

A avaliação das dimensões e da adequação do Porto Central para a energia eólica offshore baseia-se na configuração planejada e na estratégia de desenvolvimento em fases descritas no

Plano Diretor do Porto. Todas as informações relevantes sobre as instalações portuárias e a infraestrutura são abordadas nas seções a seguir.

4.5.3 Plano Diretor Portuário

O Plano Diretor Portuário prevê o desenvolvimento do Porto Central como um polo industrial e logístico integrado de grande escala, com uma área total planejada de aproximadamente 2.000 ha. O conceito do plano diretor estabelece uma estratégia de zoneamento modular e baseada em funções, projetada para acomodar uma ampla variedade de tipos de terminais e atividades industriais, permitindo ao mesmo tempo uma expansão progressiva em linha com a demanda do mercado até 2040.

O layout portuário planejado apresenta uma interface marítima extensa e escalável, configurada em torno de um longo canal interno e muros de cais. Estão previstos aproximadamente dez quilômetros de molhes e berços em todo o empreendimento. O acesso marítimo é garantido por um canal de acesso profundo e largo, projetado para acomodar grandes embarcações e assegurar a capacidade operacional.

O nível do Plano Diretor está dividido em zonas funcionais distintas, cada uma dedicada a diferentes mercados ou tipos de atividade. A estrutura de zoneamento é flexível e adaptável, sujeita aos processos de aprovação aplicáveis e aos acordos comerciais. É importante destacar que o Plano Diretor inclui uma zona de base de abastecimento offshore de 50 hectares, oferecendo a oportunidade de integrar um terminal dedicado à energia eólica offshore. Essa zona está indicada na Figura 4-23 .

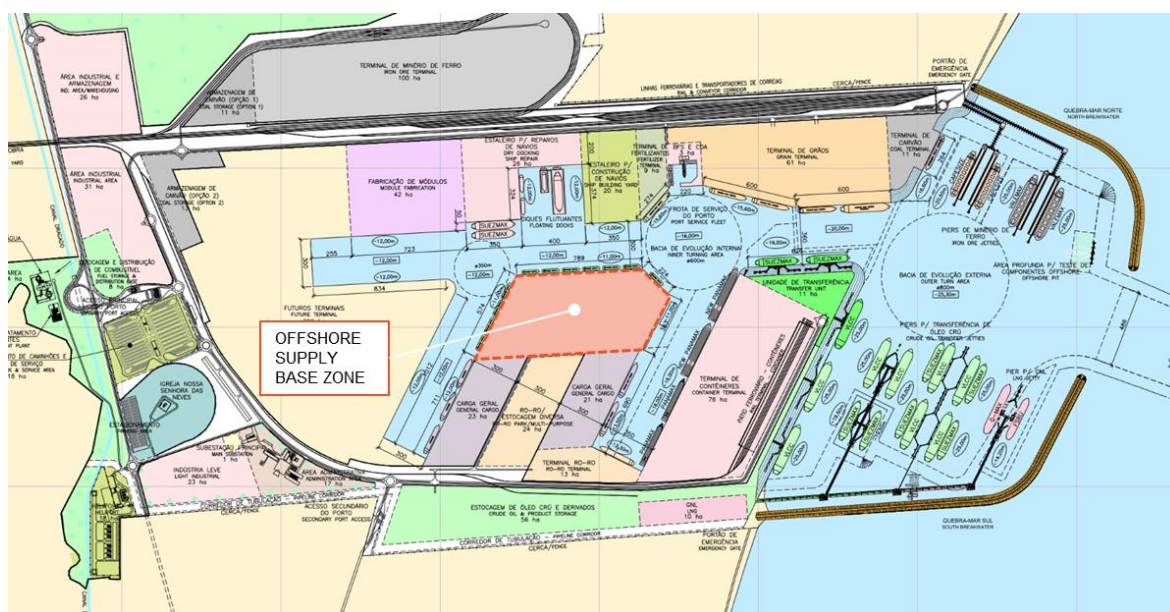


Figura 4-23 Futuras zonas do Porto Central. Fonte: (Porto Central, 2022b)

4.5.4 Análise das lacunas portuárias

Tabela 4-20 resume os principais requisitos funcionais que foram utilizados para avaliar a adequação da futura infraestrutura portuária de Porto Central aos requisitos típicos de portos para a construção de Large Offshore e Nearshore.

Tabela 4-20 : Análise de lacunas do Porto Central para energia eólica offshore. **Vermelho** = restrição significativa; **âmbar** indica uma restrição moderada que requer avaliação adicional; **amarelo** indica uma restrição potencial ou menor a ser monitorada.

Propriedade	Unidade	Futuro	Referência Grande energia eólica offshore	Índice de referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque eólico offshore	km	< 200	<200	<200	Localização ideal para os parques eólicos offshore do sudeste
Profundidade do canal	m LAT	16	> 12,5	8	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	230	> 200	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	600	400	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Comprimento do berço (TMUT)	m	2.000	400–500	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade no berço	m LAT	11	> 12	6	Abaixo do valor de referência. Durante a fase de projeto, deve-se considerar uma profundidade maior. Adequado para Nearshore
Capacidade de suporte (cais)	t/m²	Não especificado	10-15	5	Durante a fase de projeto, devem ser considerados valores de referência.
Reforço do leito marinho	-	Não especificado	Obrigatório	Obrigatório	Durante a fase de projeto, devem ser considerados valores de referência.
Área total do pátio existente	Ha	~ 50	30–40	15-20	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.

Os resultados da Tabela 4-20 mostram que as dimensões gerais da infraestrutura de navegação e dos cais do porto são adequadas para energia eólica offshore. No entanto, dois parâmetros requerem atenção durante o projeto detalhado:

- Profundidade no cais: com 11 m LAT, esse valor está abaixo do parâmetro de referência de 12 m para águas abertas (Large OW). O requisito deve ser ajustado para atingir a profundidade necessária. Isso é resolvido de forma mais eficiente durante a fase de projeto do porto. Para águas costeiras (Nearshore), essa profundidade é suficiente.
- A capacidade de suporte e o reforço do leito marinho ainda não foram especificados. Os valores de referência devem ser incorporados às especificações de projeto.

A escala e a geometria das áreas de expansão oferecem espaço suficiente para designar áreas exclusivas de atracação e armazenamento para operações relacionadas à energia eólica offshore.

4.5.5 Requisitos de Conceito e Modernização – Large Offshore

4.5.5.1 Large Offshore – Layout conceitual

A localização geográfica do Porto Central e a zona dedicada à Base de Abastecimento Offshore planejada tornam o porto um forte candidato para apoiar atividades de construção de grandes projetos eólicos offshore na região sudeste.

O conceito abaixo (Figura 4-24) mostra um terminal dedicado à energia eólica offshore, utilizando os cais na extremidade leste da zona da base de abastecimento offshore. Observe que, embora uma área de armazenamento dedicada tenha sido identificada como parte da solução, esperamos que toda a zona forme uma solução integrada, com o potencial de abrigar centros de fabricação de energia eólica offshore na área à medida que o mercado brasileiro de energia eólica offshore amadureça.

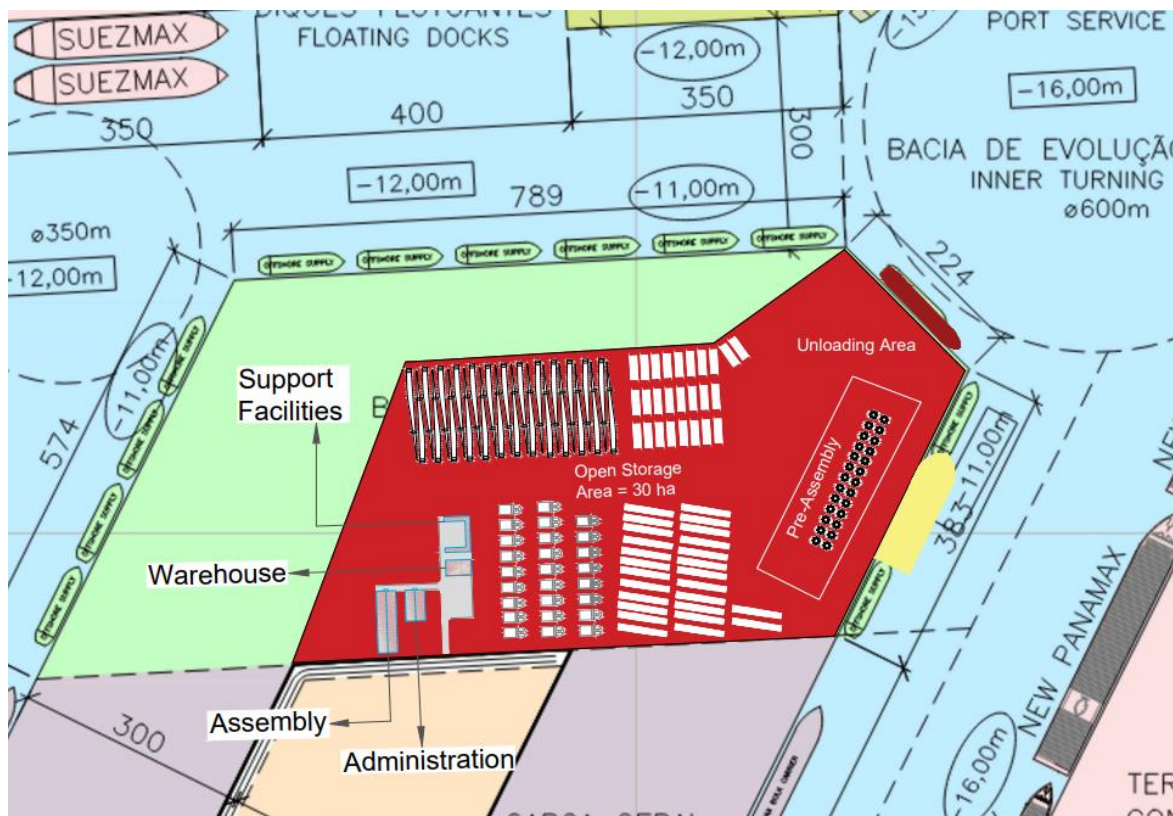


Figura 4-24 : Conceito de Porto Central — grande porto de construção para energia eólica offshore

O conceito de terminal eólico offshore teria as seguintes características principais:

Tabela 4-21 Principais características do conceito de grande porto eólico offshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-14 m LAT
Área de armazenamento em terra	30 ha
Comprimento do cais	610 m
Capacidade de carga do cais	10 a 15 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- **Novo grande terminal eólico offshore:**
 - Grandes obras de escavação e dragagem na área existente em frente ao muro do cais
 - Construção do cais (inclui uma estrutura de parede combinada ancorada com 610 m de comprimento e equipamentos associados ao cais).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 30 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 30 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

Observe que as atividades de dragagem dos canais de acesso não estão incluídas nas obras e devem fazer parte dos gastos de capital do Plano Diretor mais abrangente.

4.5.5.2 Grande projeto offshore – Custos e cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e do cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-22 apresenta a estimativa de custos para o Porto Central.

Tabela 4-22 : Estimativa indicativa de custos para um terminal de energia eólica offshore – Porto Central

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Escavação e dragagem	30,5
2	Construção do muro do cais	40
3	Área de pátio para recuperação de terras e preparação do solo	7,5
4	Área do pátio de pavimentação e drenagem	42
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	12
7	Montagem e desmontagem (8%)	10,5
TOTAL		142,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-22, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-25 .

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5		YEAR 6	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Excavation and Dredging												
2	Land reclamation and soil preparation												
3	Quay wall construction												
4	Pavement and drainage - storage yard												
5	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing												
6	Commissioning												

Figura 4-25 : Cronograma indicativo de construção do terminal OW – Porto Central

Foi incluído um prazo de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

Observe que a extensão do canal de acesso interno e outras infraestruturas do cais não estão incluídas na estimativa de custo e cronograma, uma vez que fazem parte do plano mais amplo de expansão do porto. No entanto, isso impõe uma restrição ao cronograma do terminal e deverá ser considerado antes do desenvolvimento do mesmo.

4.5.6 Requisitos de Conceito e Modernização – Nearshore

Um terminal eólico nearshore pode ser desenvolvido dentro da zona da Base de Abastecimento Offshore como um ponto de entrada inicial de menor custo. A infraestrutura do terminal nearshore pode ser ampliada posteriormente para acomodar grandes projetos eólicos offshore à medida que a demanda aumentar.

4.5.6.1 Cenário Nearshore – Layout conceitual

O terminal eólico nearshore teria as seguintes características principais:

Tabela 4-23 Principais características do conceito nearshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-11 m LAT (conforme o Plano Diretor)
Área de armazenamento em terra	20 ha
Comprimento do cais	385 m
Capacidade de carga do cais	10 t/m ²

As obras necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Nearshore:**
 - Grandes atividades de escavação e dragagem na área existente em frente ao muro do cais
 - Construção do cais (inclui 385 m de parede combinada ancorada e infraestrutura associada ao cais).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 20 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 20 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

4.5.6.2 Cenário Nearshore – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-24 apresenta a estimativa de custos para o Porto Central.

Tabela 4-24 Estimativa indicativa de custos para um terminal eólico nearshore – Porto Central

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Escavação e dragagem	19,5
2	Construção do muro do cais	25
3	Área de pátio para recuperação de terras e preparação do solo	5
4	Área do pátio de pavimentação e drenagem	28
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
7	Montagem e desmontagem (8%)	7
TOTAL		94,5

A partir dos itens de construção destacados em **Error! Reference source not found.** Tabela 4-24, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-26 .

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Excavation and Dredging										
2	Land reclamation and soil preparation										
3	Quay wall construction										
4	Pavement and drainage - storage yard										
5	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing										
6	Commissioning										

Figura 4-26 : Cronograma indicativo de construção do terminal eólico offshore – Porto Central

Foi prevista uma margem de dois anos para financiamento, planejamento do desenvolvimento e trabalhos de projeto. Os direitos de uso da área e as aprovações ambientais não estão incluídos e devem ser obtidos separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses fatores podem atrasar o início da construção.

Quanto à solução eólica offshore, não foi prevista nenhuma margem de tempo para as atividades de dragagem do canal de acesso; isso fará parte da expansão mais ampla do Plano Diretor.

4.5.7 Considerações sobre operação e manutenção

O Porto Central está bem posicionado para atividades de Operação e Manutenção (O&M), dada sua proximidade com os potenciais parques eólicos do Sudeste. Para isso, o porto precisará desenvolver um novo cais dedicado à O&M dentro da zona da Base de Abastecimento Offshore. Isso pressupõe que o cais de O&M será separado dos cais e áreas de construção.

A infraestrutura de O&M apresenta requisitos técnicos muito menos exigentes do que a infraestrutura de construção e, portanto, estima-se que o investimento de capital seja de cerca de 35 milhões de dólares (com base em um cais/berço, área de armazenamento, depósitos, escritórios e outras infraestruturas associadas às operações contínuas ao longo de uma vida útil de 25 a 35 anos), com um prazo de construção de aproximadamente 3 anos (incluindo planejamento e licenciamento).

4.5.8 Resumo

Tabela 4-25 resume os custos, o cronograma de construção e apresenta observações críticas pertinentes às soluções propostas.

Tabela 4-25 : Resumo das soluções propostas – Porto Central

Plano conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Large Offshore (15 MW)	142,5	5,5 anos	Propõe um terminal dedicado para atender projetos eólicos offshore na zona da base de abastecimento offshore. Requer o desenvolvimento do canal de acesso interno como parte do desenvolvimento mais amplo do Plano Diretor. Essa é uma restrição fundamental para o desenvolvimento desta solução. A infraestrutura está localizada na zona da Base de Abastecimento Offshore, garantindo que não haja concorrência com outros tipos de terminais que, de outra forma, poderiam restringir ou impedir o desenvolvimento. Pode fazer parte de um polo de desenvolvimento eólico offshore maior, o que aumentará as sinergias à medida que a zona da Base de Abastecimento Offshore for sendo desenvolvida.
Nearshore (6-8 MW)	94,5	4,5 anos	Propõe um terminal dedicado a empreendimentos nearshore. Solução alternativa mais econômica, que permitiria ao Porto Central acomodar oportunidades eólicas nearshore no curto prazo. Requer o desenvolvimento do canal de acesso interno como parte do desenvolvimento mais amplo do Plano Diretor. Essa é uma restrição fundamental para a viabilidade dessa solução. A infraestrutura poderá ser ampliada posteriormente, à medida que a demanda por energia eólica offshore aumentar. Como alternativa, o terminal próximo à costa poderá ser convertido em um centro de O&M para prestar serviços a parques eólicos próximos à costa e a grandes parques eólicos offshore.
O&M	35,0	3,0	Proximidade com potenciais parques eólicos futuros. Espaço adequado disponível na zona da Base de Abastecimento Offshore para acomodar um berço dedicado à O&M e a infraestrutura associada (escritórios, oficina, etc.)

Figura 4-27 apresenta uma visão geral gráfica dos resultados apresentados na Seção 4.5.8 .

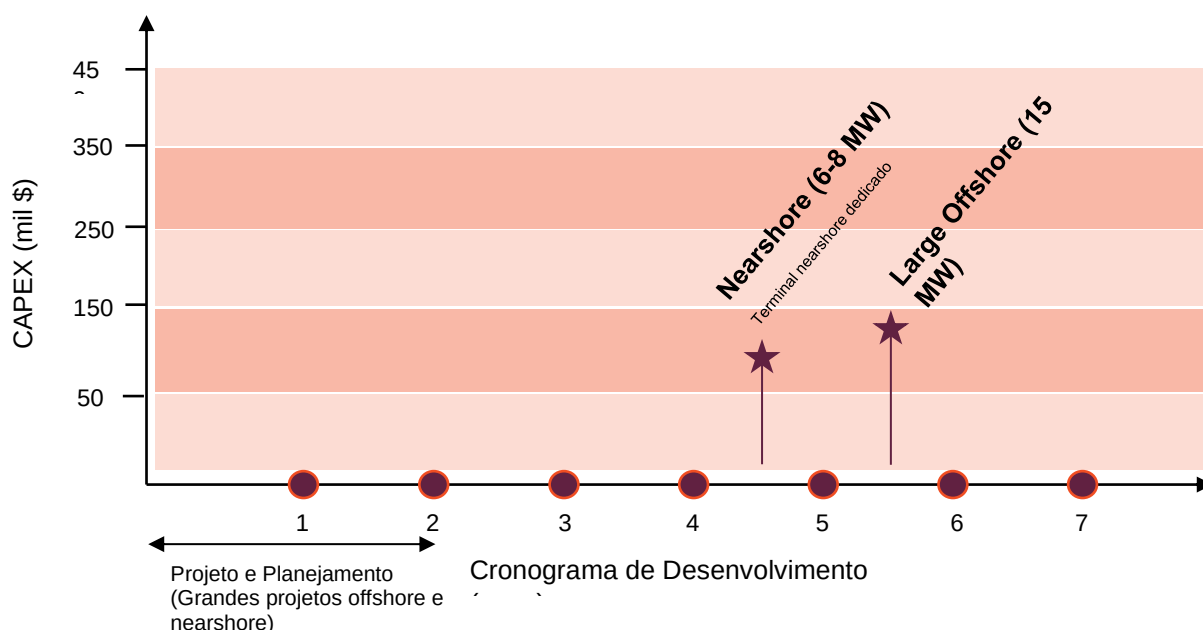


Figura 4-27 : Resumo das conclusões - Porto Central

4.6 Açu

4.6.1 Visão geral do porto

O Porto do Açu está localizado no Estado do Rio de Janeiro e é desenvolvido e de propriedade da Prumo Logística, uma empresa apoiada pelos fundos de investimento EIG e Mubadala, em parceria com a Port of Antwerp-Bruges International, uma subsidiária do Porto de Antuérpia-Bruges. O porto opera sob um modelo de porto locador e é administrado pela Porto do Açu Operações S.A., que atua como administradora portuária responsável pela gestão da infraestrutura compartilhada e pelas operações portuárias em geral.

O Açu é o maior complexo portuário industrial privado da América Latina e está em operação desde 2014. Abriga o terceiro maior terminal privado de minério de ferro do Brasil, é responsável por aproximadamente 30% das exportações de petróleo do país e abriga a maior base de apoio offshore do mundo. O porto apresenta oportunidades significativas para novos empreendimentos, tanto nas áreas adjacentes aos terminais existentes quanto na área industrial mais ampla do porto. O porto está fortemente voltado para os mercados de energia e da indústria pesada, com capacidades consolidadas em logística offshore e operações de projetos de grande escala. Além disso, devido ao modelo de gestão privada de Açu (TUP), novos empreendimentos propostos podem ser implementados com mais facilidade do que nos Portos Públicos Organizados, conforme detalhado no Capítulo 5 .

O layout do porto é caracterizado por duas zonas de terminais distintas, como pode ser visto em Figura 4-28 , cada uma projetada para desempenhar diferentes funções operacionais. O Terminal 1 (T1) é um terminal offshore especializado, protegido por um quebra-mar externo, configurado principalmente para apoiar atividades relacionadas a petróleo e minério. O Terminal 2 (T2) possui um canal de acesso separado que se conecta a uma bacia escavada, onde estão localizados vários terminais. Esses terminais se concentram principalmente em apoio offshore e logística, grãos líquidos, carga geral e desativação de embarcações.



Figura 4-28 : Layout atual do Porto de Açu (Fonte: Google Earth)

4.6.2 Instalações portuárias existentes

Esta avaliação concentra-se nas instalações portuárias presentes no Terminal 2 de Açu. O Terminal 2 (T2) consiste em bacias abrigadas e dragadas, conectadas por meio de um canal de acesso e protegidas por dois quebra-mares externos.

Atualmente, o porto pode acomodar embarcações com as seguintes dimensões de projeto:

- Comprimento x Largura x Calado => 300 m x 52 x 13,1 m

Vários terminais operam na área do T2. As características técnicas dos principais cais desses terminais estão resumidas na Tabela 4-26 Tabela 4-26 :

Tabela 4-26 : Características dos berços do Terminal 2

Terminal / Berço	Operações / Carga	Comprimento [m]	Profundidade [m]	Capacidade de carga [tm/m ²]
T-MULT	Carga geral	515	14,5	10
B-PORT	Carga líquida a granel e apoio offshore	560	10,0	5
DOMÉ	Suporte Offshore	460	9,0	50
NOV	Suporte offshore	260	10,0	10
Technip	Suporte offshore	500	10,0	5

O terminal T-MULT é um terminal multifuncional para carga geral com aproximadamente 36 ha de área de armazenamento. O terminal possui ampla experiência no manuseio de componentes de turbinas eólicas terrestres, incluindo pás e seções de torre associadas a turbinas da classe de 6 a 8 MW. A escala desses componentes se alinha bem com o tamanho típico dos componentes eólicos offshore próximos à costa (consulte Tabela 2-2) e oferece uma boa oportunidade para o porto capitalizar em quaisquer projetos eólicos próximos à costa na região.

Todos os terminais mencionados acima são operados por empresas privadas que possuem contratos de arrendamento com o porto. Esses terminais estão envolvidos principalmente em atividades de apoio offshore e, portanto, oferecem uma boa base para apoiar atividades eólicas offshore, seja na instalação, seja por meio de atividades de operação e manutenção (O&M).

4.6.3 Plano Diretor do Porto

O Açú divulgou um plano de desenvolvimento com o objetivo de fortalecer a posição do porto em seus mercados atuais. De acordo com informações fornecidas pelo porto, esse plano já contempla áreas e instalações que podem dar suporte à fabricação de componentes eólicos offshore e às atividades industriais relacionadas. Além disso, o porto tem a ambição de desenvolver capacidade eólica offshore para diversificar ainda mais sua oferta e garantir a sustentabilidade do negócio no futuro. Assim, o porto indicou quatro áreas diferentes dentro do porto que poderiam ser dedicadas como terminais eólicos offshore. Elas são mostradas em Figura 4-29.

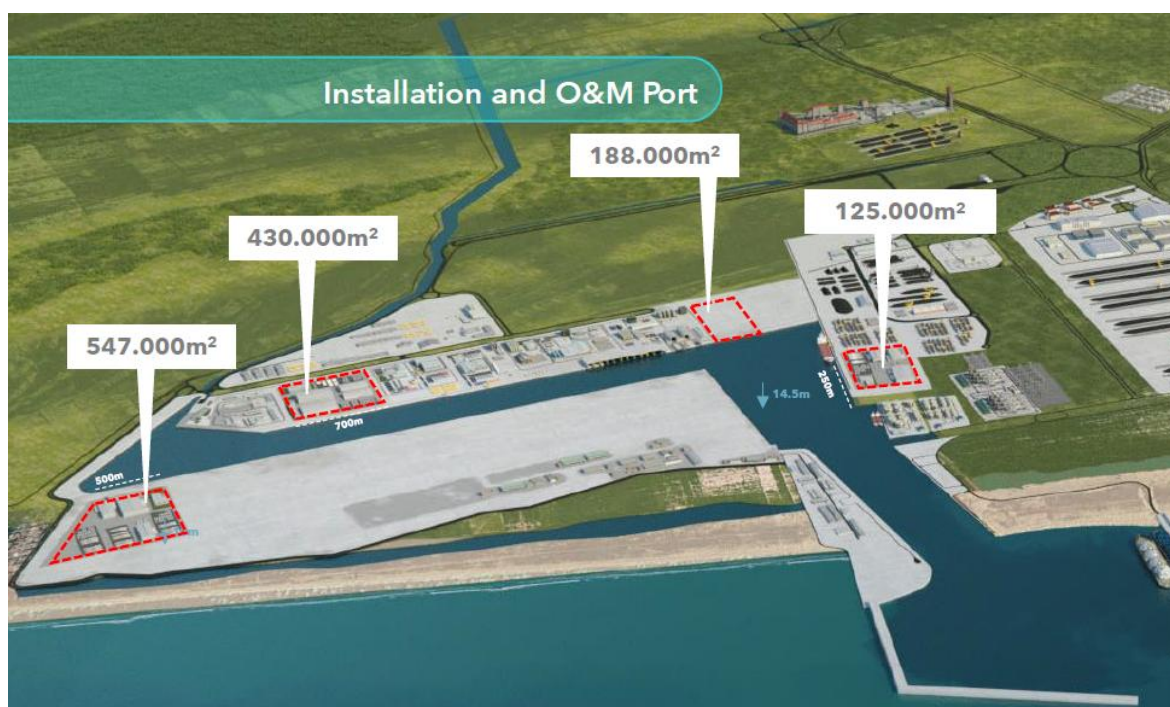


Figura 4-29 : Possíveis áreas para energia eólica offshore no Porto do Açú (Fonte: Porto do Açú, s.d.)

Embora os quatro locais apresentados em Figura 4-29 ofereçam boas oportunidades de desenvolvimento, a opção mais próxima do canal de acesso atende a todos os requisitos em termos de profundidade disponível para possíveis WTIVs. Portanto, essa foi selecionada como a opção preferencial para desenvolvimento. As demais áreas designadas poderiam fornecer serviços de apoio, como para atividades de O&M.

4.6.4 Análise de lacunas portuárias

Tabela 4-27 resume os principais requisitos funcionais utilizados para avaliar a adequação da infraestrutura portuária existente de Açú, com base nos requisitos típicos de portos para a construção de grandes parques eólicos offshore e nearshore.

Tabela 4-27 : Análise de lacunas do Porto de Açu para grandes projetos eólicos offshore

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Grandes projetos offshore	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque eólico offshore	km	< 200	<200	<200	Localização ideal para os parques eólicos offshore do sudeste
Profundidade do canal	m LAT	14,5	> 12,5	8	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	300	> 200	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	600	400	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Comprimento do berço (T-MULT)	m	515	400–500	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade no berço (T-MULT)	m LAT	14,5	> 12	6	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Capacidade de suporte ((T-MULT))	t/m²	10	10-15	5	Em conformidade com o parâmetro de referência; não são necessárias medidas.
Reforço do leito marinho	-	Não especificado	Obrigatório	Obrigatório	É necessária uma avaliação para determinar se será necessário reforçar o leito marinho para os pés da plataforma elevatória.
Área total existente do estaleiro (T-MULT)	Ha	36	30-40	15-20	A área de armazenamento existente no pátio atende aos requisitos. No entanto, essa área apresenta atualmente uma alta taxa de ocupação. Portanto, não há espaço disponível para acomodar tanto as operações de

					energia eólica offshore (OW) quanto as atuais. É necessário um espaço de armazenamento dedicado para componentes de energia eólica offshore. Isso também se aplica à energia eólica nearshore.
--	--	--	--	--	--

Conforme a tabela, as características de navegação e infraestrutura do terminal T-MULT são adequadas para projetos Large Offshore. No entanto, a configuração atual do terminal oferece uma área de armazenamento limitada que já é intensamente utilizada. Isso restringirá a funcionalidade tanto das atividades de carregamento quanto de descarregamento. Portanto, será necessário armazenamento adicional. Isso se aplica tanto a Large Offshore quanto a Nearshore. O porto indicou que há áreas adjacentes disponíveis para o desenvolvimento de um “ ” a fim de fornecer esse armazenamento adicional, e que sua área industrial de retaguarda oferece potencial adicional para armazenamento temporário, pré-montagem e instalações para a fabricação ou integração de componentes eólicos offshore. Essas áreas estão fora da avaliação de capacidade atual apresentada aqui, mas representam uma oportunidade de desenvolvimento relevante.

4.6.5 Conceito e Requisitos de Modernização – Large Offshore

4.6.5.1 Large Offshore – Layout Conceitual

Açu está muito bem localizado para atender a potenciais parques eólicos offshore na região sudeste. Dessa forma, terminais dedicados à energia eólica offshore foram identificados como parte de seu Plano Diretor. Com base na análise de lacunas portuárias e na avaliação das zonas de desenvolvimento propostas, Figura 4-30 mostra um conceito para um terminal de energia eólica offshore por meio da extensão do muro de cais T-MULT existente e do desenvolvimento do terreno atrás dele para fornecer um pátio de armazenamento adequado.

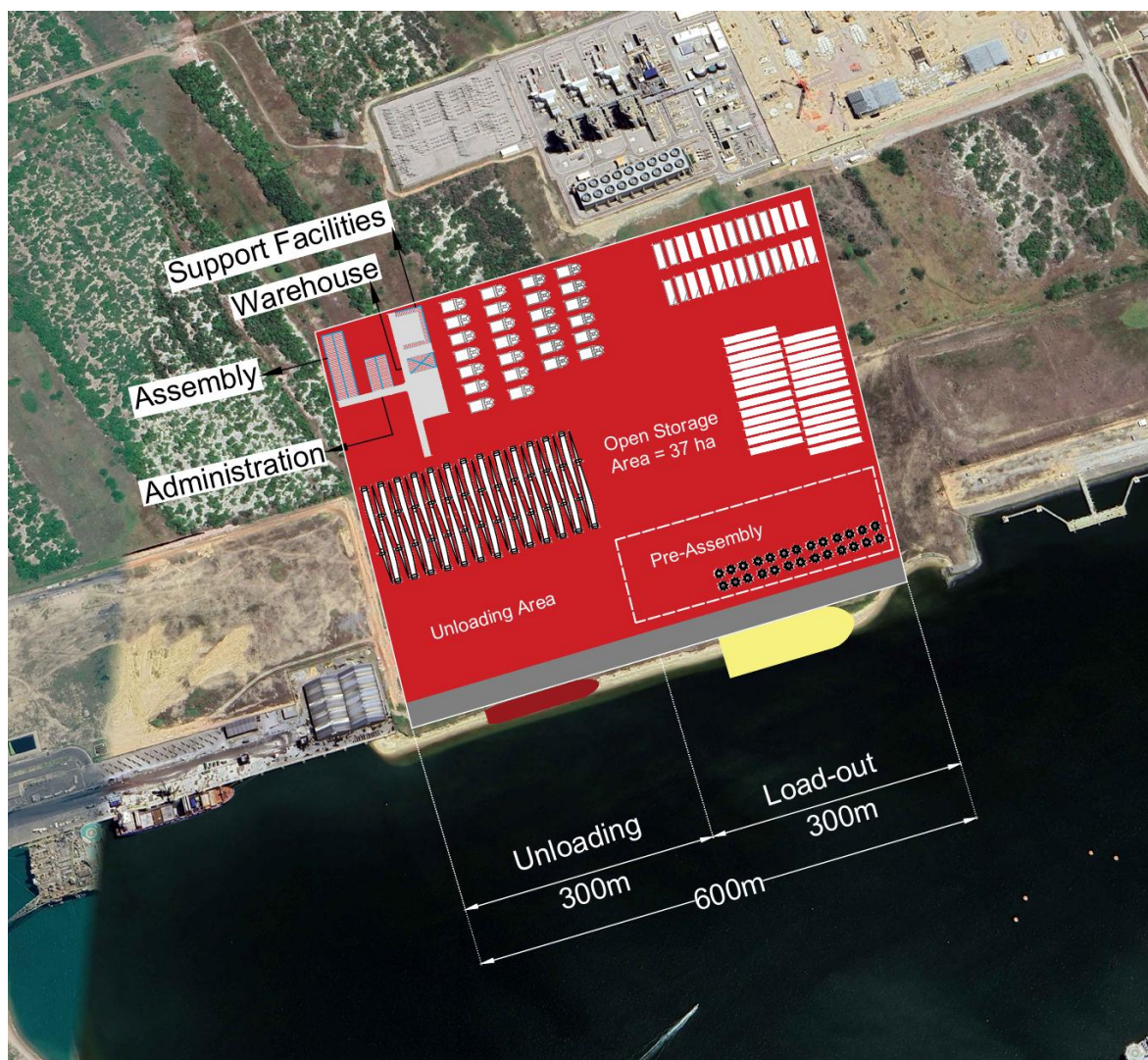


Figura 4-30 : Conceito de layout do terminal de energia eólica offshore do Porto de Açú

O conceito de terminal eólico offshore, conforme mostrado em Figura 4-30 , teria as seguintes características principais:

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-14,5 m LAT
Área de armazenamento em terra	37 ha
Comprimento e largura do cais	600 x 25 m
Capacidade de suporte do cais	10 a 15 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Large Offshore:**
 - Construção do cais (inclui 600 m de uma estrutura de deck sobre estacas e equipamentos associados ao cais).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 37 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 37 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas
 - Dragagem de pequena escala (pode ser combinada com dragagem de manutenção)

4.6.5.2 Large Offshore – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-28 mostra a estimativa de custos para o Açú.

Tabela 4-28 : Estimativa indicativa de custos para o grande terminal offshore – Porto de Açú

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	4,5
2	Construção de parede de cais	42
3	Armazenamento no pátio de preparação de solo	9
4	Armazenamento no pátio de pavimentação e drenagem	52
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	12
6	Montagem e desmontagem (8%)	9,5
TOTAL		129

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-28, foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-31 .

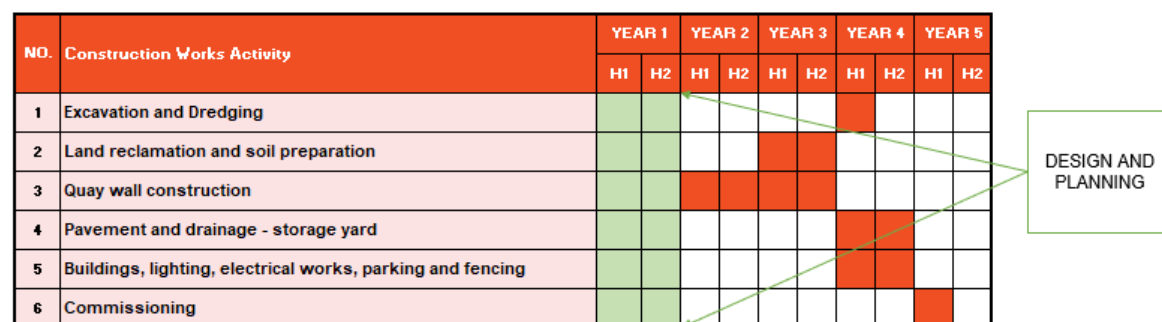


Figura 4-31 : Cronograma indicativo de construção do terminal de água aberta – Porto de Açú

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As aprovações de direitos de área e ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas aprovações podem atrasar o início da construção.

4.6.6 Requisitos conceituais e de modernização – Nearshore

Como etapa intermediária antes de avançar para grandes projetos eólicos offshore, poderia ser o desenvolvimento do porto para oportunidades eólicas nearshore.

Nesse sentido, foram definidos dois cenários:

- **Cenário Nearshore 1 – Desenvolvimento em um novo muro de cais:** Um terminal eólico dedicado a Nearshore, que amplia e adapta o cais T-MULT.
- **Cenário Nearshore 2 – Utilização da infraestrutura marítima existente, juntamente com armazenamento adicional:** Atividades eólicas offshore acomodadas no terminal T-MULT existente, compartilhando instalações com outros operadores.

4.6.6.1 Cenário Nearshore 1 – Layout conceitual

Este cenário considera uma extensão reduzida do muro de cais no terminal T-MULT. Essa solução permitiria ao porto acomodar atividades nearshore, ao mesmo tempo em que aumentaria sua capacidade de movimentação.

O conceito aborda as preocupações levantadas na Seção 4.6.4, notadamente o espaço de armazenamento adicional necessário para o armazenamento e a montagem de componentes de turbinas eólicas. Trata-se de uma versão reduzida da solução original para Large Offshore, que pode ser ampliada posteriormente caso a demanda aumente.

O conceito de terminal eólico próximo à costa teria as seguintes características principais:

Tabela 4-29 Principais características do conceito nearshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-14,5 m LAT (em linha com a estrutura existente)
Área de armazenamento em terra	20 ha
Comprimento e largura do cais	300 x 25 m
Capacidade de carga do cais	10 t/m ²

As obras necessárias incluem o seguinte:

- **Novo terminal para Nearshore:**
 - Construção do cais (inclui 300 m de uma plataforma sobre estrutura de pilotes e equipamentos associados ao cais).
 - Preparação do solo e nivelamento da área do pátio de 20 ha
 - Pavimentação e drenagem da área do pátio de 20 ha
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas
 - Dragagem de pequena escala (pode ser combinada com dragagem de manutenção)

4.6.6.2 Cenário Nearshore 1– Custos e cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento. Tabela 4-30 apresenta a estimativa de custos para o Cenário 1 do projeto eólico nearshore de Açú.

Tabela 4-30 : Estimativa indicativa de custos para o conceito eólico nearshore 1 – Porto de Açú

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	2
2	Construção de parede de cais	21
3	Armazenamento no pátio de preparação de solo	5
4	Armazenamento no pátio de pavimentação e drenagem	28
5	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
6	Montagem e desmontagem (8%)	5,5
TOTAL		71,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-30, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-32 .

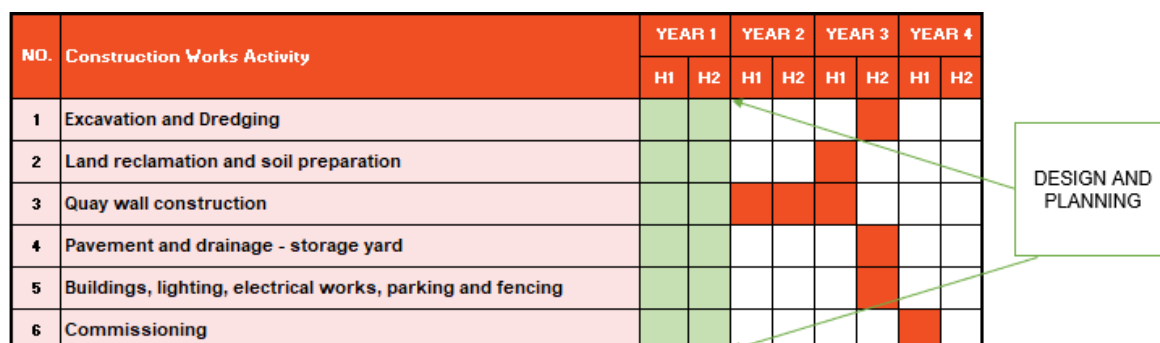


Figura 4-32 : Cronograma indicativo de construção para o conceito Nearshore 1 – Porto de Açú

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso da área e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses trâmites podem atrasar o início da construção.

4.6.6.3 Cenário Nearshore 2 – Layout do conceito

O segundo conceito para o projeto nearshore utiliza a infraestrutura existente do T-MULT devido à adequada capacidade de carga e profundidade dos berços. Isso implica que os berços serão compartilhados entre os diferentes operadores, ou que o operador atual precisará ser realocado. No entanto, ainda haverá a necessidade de armazenamento dedicado adicional, o que constituirá o principal componente de custo dessa solução proposta.

Este conceito teria as seguintes características principais:

Elemento	Capacidade
Área de armazenamento em terra	15 ha

As obras necessárias para este conceito incluem o seguinte:

- Preparação do solo, pavimentação e drenagem de um pátio de armazenamento em terra com 15 ha.
- Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

Observe que podem ser necessárias pequenas melhorias ou modificações no muro do cais, dependendo das condições do berço, bem como requisitos específicos relacionados aos ventos próximos à costa – isso não foi incluído no orçamento.

4.6.6.4 Cenário Nearshore 2 – Custo e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização para Açú, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-31 mostra a estimativa de custos para o Cenário 2 de energia eólica nearshore de Açú

Tabela 4-31 Estimativa indicativa de custos para o conceito eólico nearshore 2 – Porto de Açú

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra	24,5
2	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
3	Mobilização e desmobilização (8%)	3
TOTAL		37,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-31, foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-33 .

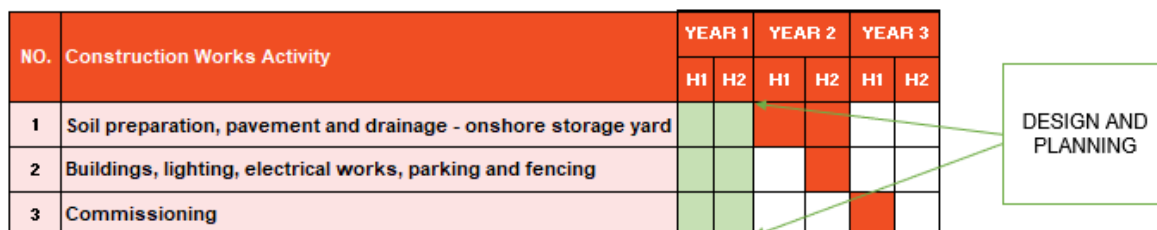


Figura 4-33 : Cronograma indicativo de construção para o conceito Nearshore 2 – Porto de Açú

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso da área e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.6.7 Considerações sobre Operação e Manutenção

Devido à proximidade de Açú com potenciais zonas eólicas offshore na região sudeste, o porto é um forte candidato a prestar serviços para atividades de O&M. Além disso, o porto já oferece suporte à infraestrutura de petróleo e gás offshore, e as competências desenvolvidas nessa área são transferíveis para a energia eólica offshore.

Caso as atividades de O&M venham a ser realizadas no porto, prevê-se que não seja necessário um cais dedicado a O&M, uma vez que as instalações existentes seriam adequadas.

4.6.8 Resumo

A tabela abaixo resume os custos, os cronogramas de construção e as observações críticas pertinentes às soluções propostas.

Tabela 4-32 : Resumo das soluções propostas – Porto de Açú

Esboço conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Large Offshore (15 MW)	129,0	4,5 anos	Área já ocupada identificada no Plano Diretor para desenvolvimento. Esse local representa a localização mais adequada devido a considerações de navegação, limitando a quantidade de dragagem e reduzindo o CAPEX necessário. Essa solução prevê um terminal dedicado à atendimento de projetos de energia eólica offshore e será construída a partir do cais T-MULT já existente, a fim de maximizar o comprimento do cais para o transporte de cargas relacionadas aos projetos.

Esboço conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Nearshore 1 (6-8 MW)	71,5	3,5 anos	Propõe um terminal dedicado a empreendimentos nearshore. Solução alternativa mais econômica, com o objetivo de permitir que o Açú aproveite as oportunidades de energia eólica nearshore no curto prazo. A infraestrutura pode ser ampliada posteriormente para se adequar à solução Large Offshore proposta, à medida que a demanda por energia eólica offshore aumentar.
Nearshore 2 (6-8 MW)	37,5	2,5 anos	Propõe o compartilhamento das instalações existentes com outros operadores de terminais. Oferece uma solução mais rápida e econômica caso haja infraestrutura de cais disponível para uso. A disponibilidade limitada de cais pode afetar os prazos de construção dos Nearshore. Ainda será necessário o desenvolvimento de uma área de armazenamento adicional.
O&M	n/a	n/a	Proximidade com os parques eólicos offshore propostos. O porto já possui experiência no atendimento a atividades offshore de petróleo e gás. Esses terminais podem ser utilizados para apoiar as atividades de O&M, eliminando a necessidade de um cais separado para O&M.

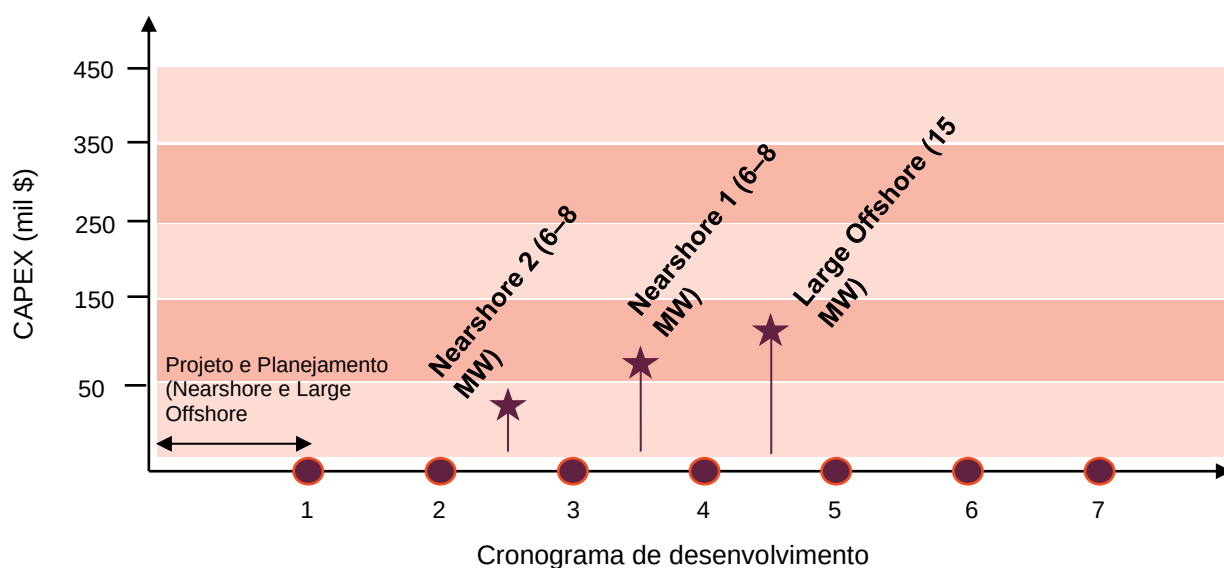


Figura 4-34 apresenta uma visão geral gráfica dos resultados apresentados na Seção 4.6.8.

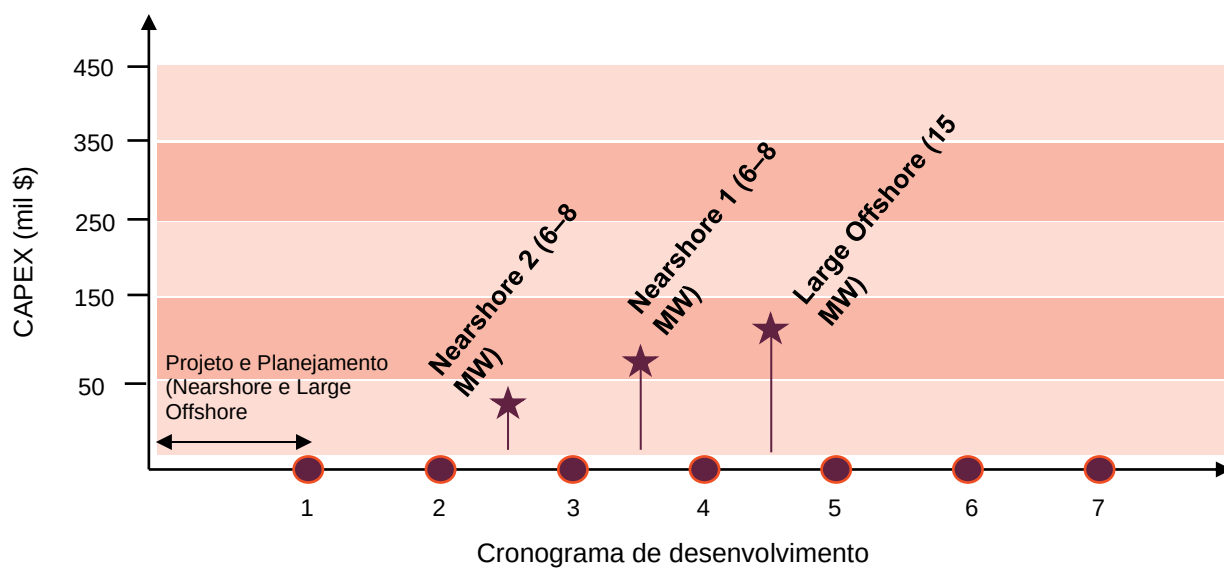


Figura 4-34 : Resumo das conclusões - Porto Açú

4.7 Imbituba

4.7.1 Visão geral do porto

O Porto de Imbituba está localizado no Estado de Santa Catarina, no sul do Brasil. Imbituba tem mais de 100 anos de história e, desde 2012, é administrado pela SCPAR Porto de Imbituba S.A., que pertence ao Governo do Estado de Santa Catarina.

Imbituba é um porto de águas profundas com bom acesso ao mar aberto, protegido por um quebra-mar externo e com três berços em operação (consulte Figura 4-35), que movimentam diferentes tipos de carga.



Figura 4-35 : Infraestrutura atual de berços do Porto de Imbituba (Fonte: Ministério de Portos e Aeroportos et al., 2024).

O traçado do porto é relativamente compacto e espacialmente limitado pelo terreno montanhoso adjacente ao porto. Essa área montanhosa é protegida, restringindo qualquer desenvolvimento adicional. A infraestrutura marítima existente, juntamente com as profundidades de águas profundas para navegação, torna Imbituba uma opção potencial para atender à parte norte da região proposta para o desenvolvimento eólico offshore sul.

4.7.2 Instalações portuárias existentes

Imbituba é um complexo portuário industrial de águas profundas e abrigado. O porto pode acomodar embarcações com as seguintes dimensões de projeto:

- Comprimento x Largura x Calado => 350 m x 45 x 13,5 m

As operações portuárias ocorrem em três berços diferentes, sendo que os dois principais estão localizados ao longo do cais – conforme mostrado em Figura 4-35 . Os berços ao longo do cais são caracterizados como multifuncionais, movimentando diversos tipos de carga. As características técnicas dos berços estão resumidas em Tabela 4-33:

Tabela 4-33 : Características dos berços do Porto de Imbituba

Nº do berço	Operações / Carga	Comprimento [m]	Profundidade [m]	Capacidade de carga [tm/m ²]
1	Granéis líquidos, carga geral, contêineres e granéis sólidos	250	13,5	5
2	Carga líquida a granel, carga geral,	410	13,5	5

Nº do berço	Operações / Carga	Comprimento [m]	Profundidade [m]	Capacidade de carga [tm/m²]
	contêineres e carga sólida a granel			
3	Carga a granel sólida	245	11,5	5

Todos os cais são operados pela Autoridade Portuária. No entanto, o Cais 2 está sujeito a um acordo de prioridade em favor de uma operadora de contêineres. O Cais 4 (consulte Figura 4-35) é uma rampa Ro-Ro e é utilizado apenas para operações de manutenção e apoio. Atualmente, o porto possui mais de 55 ha de área de armazenamento, localizada principalmente em terra firme/no interior. Essas áreas apresentam alta taxa de ocupação e espaço limitado para expansão. No entanto, de acordo com as informações fornecidas pelo Porto, existem áreas adicionais na zona não alfandegária do porto que poderiam ser exploradas para o planejamento de médio a longo prazo (ver seção 4.7.3).

4.7.3 Plano Diretor do Porto

O Porto de Imbituba pretende aumentar seu volume de movimentação e reforçar sua posição no mercado da região sul por meio do aumento de sua capacidade de atracação.

Como parte dessa iniciativa, foram programadas as seguintes obras de modernização:

- Modernização dos cais 1 e 3, com a adição de pontos de atracação e a ampliação dos cais.
- Instalação de dolins de amarração ao norte do cais 2, o que permitirá que embarcações maiores atracem ao lado dele.
- Obras de manutenção no quebra-mar externo para melhorar o desempenho e prolongar a vida útil.

Além disso, o porto está considerando a adição de um cais adicional na extremidade norte oposta do píer. Figura 4-36 mostra as melhorias propostas.

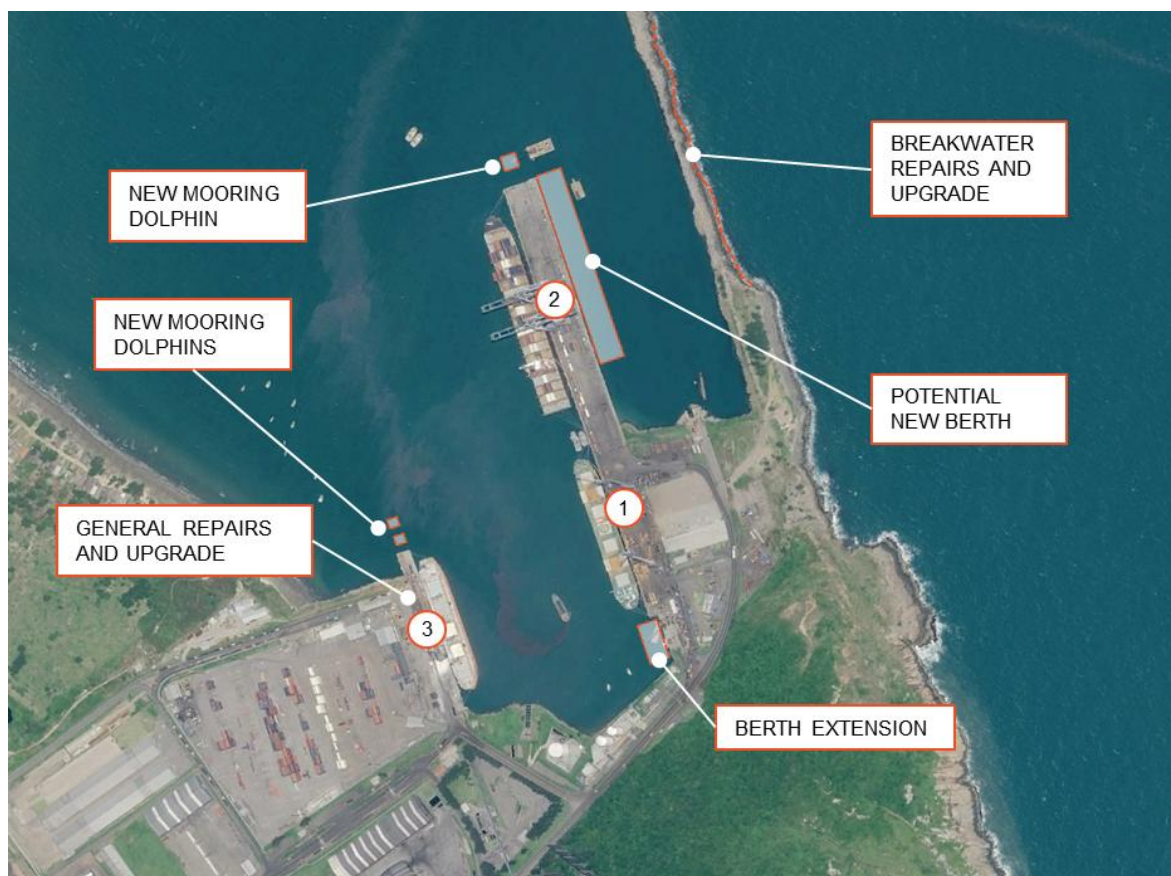


Figura 4-36 : Melhorias atuais e propostas para o Porto de Imbituba (Fonte: Google Earth)

Conforme mencionado acima, o porto dispõe de espaço de armazenamento limitado. Para aumentar a área de armazenamento, apenas a área identificada como “Área Mar” na Figura 4-37 poderia ser utilizada por meio de recuperação de terras. Além disso, de acordo com informações recentes, uma nova área no interior de aproximadamente 10 ha poderia ser incluída nos ativos do porto. Essa nova área é apresentada em Figura 4-37 ; no entanto, esse processo pode levar vários anos antes que qualquer atividade de desenvolvimento possa ser iniciada.

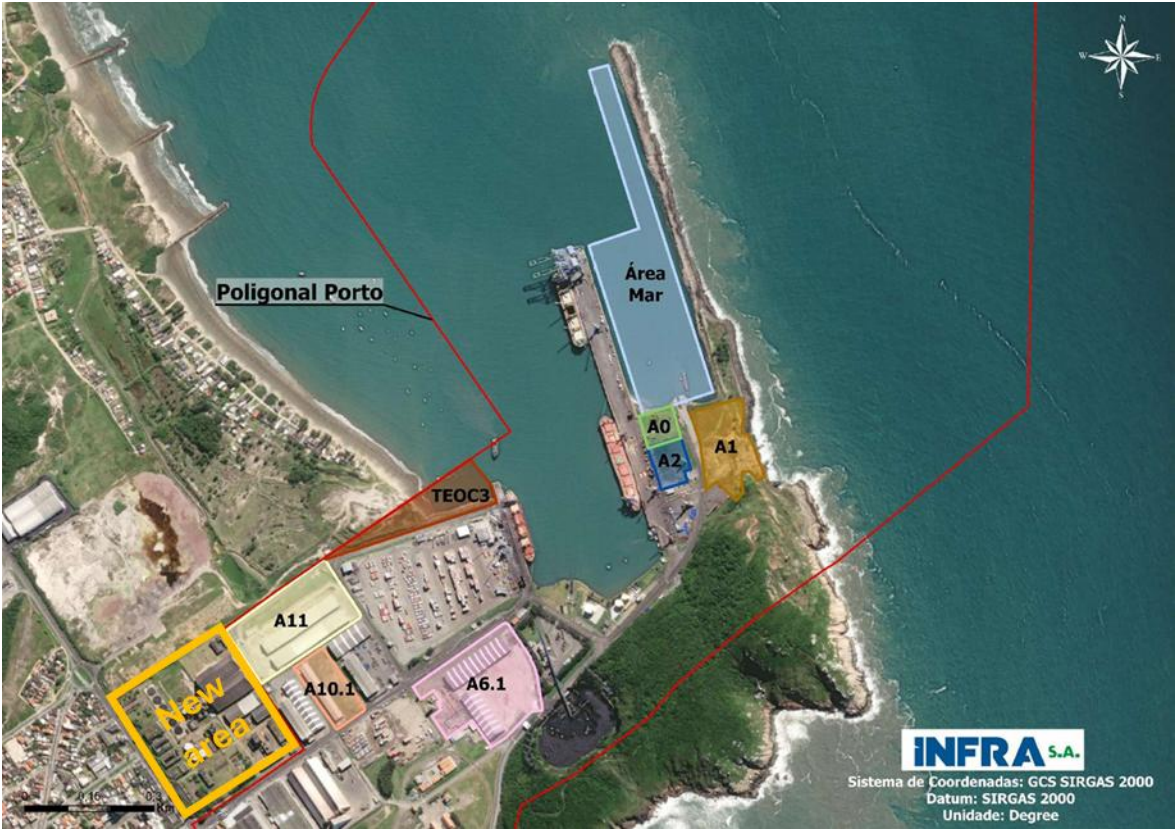


Figura 4-37 : Áreas disponíveis para desenvolvimento no Porto de Imbituba (Fonte: Ministério de Portos e Aeroportos et al., 2024).

4.7.4 Análise das lacunas portuárias

Tabela 4-34 resume os principais requisitos funcionais utilizados para avaliar a adequação da infraestrutura portuária existente do Porto de Imbituba aos requisitos típicos de um porto para a construção de grandes projetos eólicos offshore e nearshore.

Tabela 4-34 : Análise de lacunas do Porto de Imbituba para grandes projetos offshore. **Vermelho** = restrição significativa; **âmbar** indica uma restrição moderada que requer avaliação adicional; **amarelo** indica uma restrição potencial ou menor que deve ser monitorada.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque eólico offshore	km	> 250	<200	Boa localização apenas na parte norte dos parques eólicos offshore do sudeste
Profundidade do canal	m LAT	17	8	Acima do nível de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	240	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	550	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Comprimento do berço (TMUT)	m	660	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade nos berços (1 e 2)	m LAT	13,5	6	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Capacidade de suporte (berços 1 e 2)	t/m ²	5	5	A capacidade de suporte não é suficiente para Large Offshore; apenas para Nearshore
Reforço do leito marinho	-	Não	Necessário	É necessária uma avaliação para determinar se será necessário o reforço do leito marinho para as pernas das plataformas elevatórias.
Área total existente do estaleiro	Ha	> 50	15-20	A área de armazenamento existente no pátio atende aos requisitos. Toda a área do pátio do porto deve ser inteiramente dedicada às atividades offshore. No entanto, essas áreas apresentam atualmente altas taxas de ocupação. Portanto, não há espaço disponível, sendo necessário um armazenamento dedicado para componentes de energia eólica offshore.

Os resultados da Tabela 4-34 mostram que, embora os requisitos de navegação sejam adequados, os muros de cais existentes não atendem aos requisitos de carga para Large Offshore, sendo necessárias obras de grande porte (demolição e reconstrução). No entanto, a capacidade de suporte dos muros de cais satisfaz o requisito mínimo para projetos eólicos nearshore, o que representa uma oportunidade de utilizar as instalações existentes, desde que a infraestrutura do cais esteja disponível e as operações atuais não sejam interrompidas.

Além disso, a configuração atual do porto oferece uma área limitada de armazenamento offshore, que já está operando em sua capacidade máxima. Portanto, será necessário espaço de armazenamento adicional.

4.7.5 Requisitos de Conceito e Modernização – Large Offshore

Devido às preocupações levantadas na seção 4.7.4, notadamente o espaço de armazenamento disponível e a capacidade de suporte das paredes dos cais existentes, o porto precisaria ser totalmente reprojeto e modernizado para acomodar um terminal dedicado à Large Offshore.

Como isso não é considerado justificado no estágio atual de desenvolvimento do mercado, esse cenário não foi aprofundado. A avaliação concentra-se, portanto, nos cenários de Nearshore, nos quais os requisitos de infraestrutura mais reduzidos são mais compatíveis com as restrições atuais de Imbituba.

4.7.6 Conceito e Requisitos de Modernização – Nearshore

Pode ser viável para Imbituba acomodar empreendimentos nearshore, o que exigiria investimentos consideravelmente menores e prazos de desenvolvimento mais curtos. São avaliados dois cenários nearshore, cada um representando um nível diferente de investimento em infraestrutura e viabilidade no curto prazo. Ambos ainda exigem o desenvolvimento de novo armazenamento em terra, já que não há área de armazenamento disponível.

Os dois cenários nearshore são descritos a seguir:

- **Cenário Nearshore 1 – Nova área de aterro e paredões de cais:** Alinhada aos planos de desenvolvimento de Imbituba, essa solução permite que o porto acomode atividades eólicas costeiras por meio de nova infraestrutura marítima.
- **Cenário Nearshore 2 – Uso da infraestrutura marítima existente em conjunto com a área de armazenamento:** Aproveita a infraestrutura existente de paredes de cais. Os berços são compartilhados entre as operadoras, exigindo um planejamento cuidadoso para gerenciar a alta ocupação.

4.7.6.1 Cenário Nearshore 1 – Layout conceitual

Em consonância com os planos de desenvolvimento do Porto de Imbituba, essa solução permitiria ao porto acomodar atividades nearshore e, ao mesmo tempo, aumentar sua capacidade de movimentação. Figura 4-38 ilustra esse conceito para o cenário 1 do terminal nearshore.

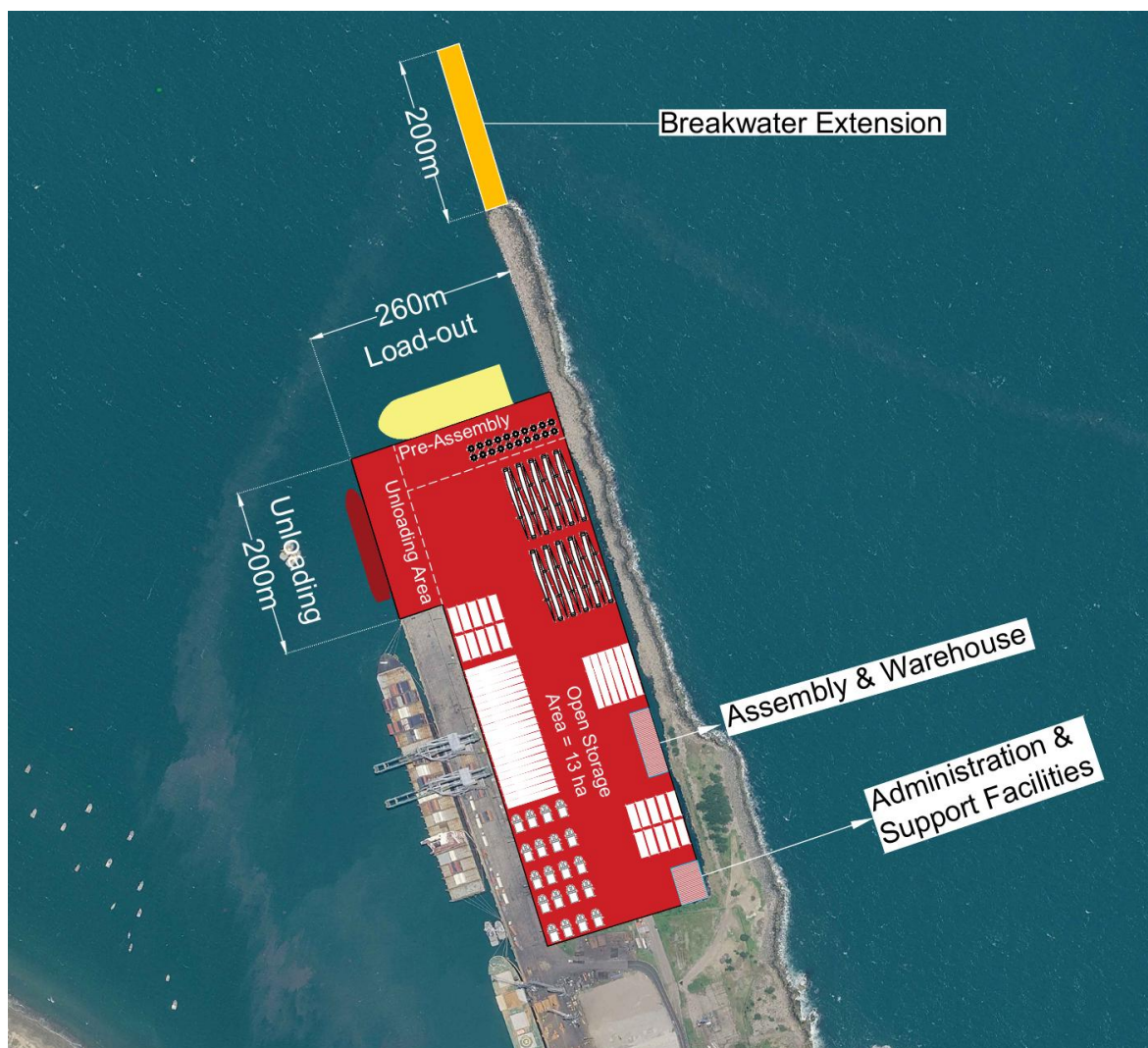


Figura 4-38 : Conceito de terminal nearshore do Porto de Imbituba – cenário 1

Observe que ainda é necessário espaço adicional de armazenamento no interior.

O terminal eólico nearshore, conforme mostrado na Figura 4-38 , teria as seguintes características principais:

Tabela 4-35 Principais características do conceito Nearshore 1

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-13,5 m LAT
Área de armazenamento recuperada	13 ha
Área de armazenamento em terra	2 ha
Comprimento do cais	460 m
Capacidade de carga do cais	5 a 10 t/m ²

As obras necessárias para este conceito incluem:

- **Novo terminal para Nearshore:**
 - Ampliação do quebra-mar externo em 200 m (para acompanhar a ampliação do cais).
 - Construção do cais (inclui 460 m de parede combinada ancorada e infraestrutura associada ao cais).

- Estrutura de interface entre o cais existente e a nova área de recuperação (parede de estacas-pranchas de 490 m)
- Recuperação de 13 ha de terreno e preparação do solo associada
- Pavimentação e drenagem dos 13 ha de terreno recuperado
- **Pátio de armazenamento adicional no interior:**
 - Preparação do solo, pavimentação e drenagem de 2 ha de pátio de armazenamento em terra.
 - Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

O conceito proposto interromperá as operações existentes, e sugere-se que a operadora de contêineres seja realocada para o Berço 1 como parte das medidas atuais de modernização do porto. O custo dessa realocação não foi incluído nas estimativas de custo e cronograma.

4.7.6.2 Cenário Nearshore 1 – Custos e cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-36 mostra a estimativa de custos para o Cenário 1 de energia eólica nearshore do Porto de Imbituba.

Tabela 4-36 : Estimativa indicativa de custos para o cenário 1 de energia eólica nearshore – Porto de Imbituba

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Construção da estrutura de interface	16
2	Ampliação do quebra-mar	20
3	Construção do muro do cais	30
4	Recuperação de terras e preparação do solo	45,5
5	Pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento recuperado	18
6	Preparação do solo, pavimentação e drenagem – armazenamento no pátio interno	3
7	Edificações, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
8	Montagem e desmontagem (8%)	11,5
TOTAL		154

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-36, foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-39 .

NO.	Construction Works Activity	YEAR 1		YEAR 2		YEAR 3		YEAR 4		YEAR 5	
		H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
1	Interface structure										
2	Breakwater extension										
3	Quay wall construction										
4	Land reclamation and soil preparation										
5	Pavement and drainage - reclaimed land storage yard										
6	Soil preparation, pavement and drainage - inland storage yard										
7	Buildings, lighting, electrical works, parking and fencing										
8	Commissioning										

Figura 4-39 : Cronograma indicativo de construção para o cenário 1 Nearshore – Porto de Imbituba

Foi incluída uma margem de dois anos para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses trâmites podem atrasar o início da construção.

4.7.6.3 Cenário Nearshore 2 – Layout conceitual

O segundo cenário para Nearshore utiliza a infraestrutura existente do muro do cais devido à adequada capacidade de carga e profundidade dos berços. Isso implica que os berços serão compartilhados entre os operadores de terminais. Portanto, será necessário um planejamento cuidadoso para limitar quaisquer atrasos operacionais decorrentes de altas taxas de ocupação dos berços. Como nenhuma infraestrutura marítima adicional será desenvolvida, o principal desafio será determinado pela necessidade de armazenamento adicional em terra. Para esse fim, a nova área mencionada na seção 4.7.6.1 poderia ser implementada.

O conceito do cenário 2 do Nearshore teria as seguintes características principais:

Tabela 4-37 Principais características do conceito Nearshore 2

Elemento	Capacidade
Área de armazenamento em terra	-15 ha

As obras necessárias incluem o seguinte:

- Preparação do solo, pavimentação e drenagem de 15 ha de pátio de armazenamento em terra.
- Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

4.7.6.4 Cenário Nearshore 2 – Custo e cronograma

Com base nos requisitos de modernização do Porto de Imbituba, foram elaborados um custo indicativo de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-38 Tabela 4-38 mostra a estimativa de custo para o Cenário 2 do terminal eólico próximo à costa do Porto de Imbituba.

Tabela 4-38 : Estimativa indicativa de custo para o terminal eólico nearshore 2 – Porto de Imbituba

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Preparação do solo, pavimentação e drenagem do pátio de armazenamento em terra	23
2	Edificações, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	10
3	Montagem e desmontagem (8%)	2,5
TOTAL		35,5

Nota: Podem ocorrer custos adicionais decorrentes de pequenas modificações/modernizações no cais para melhor acomodar os WTIVs e na infraestrutura associada ao cais, a fim de facilitar as operações de descarga e carregamento. Atualmente, esses custos ainda não foram orçados.

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-38 foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-40 .

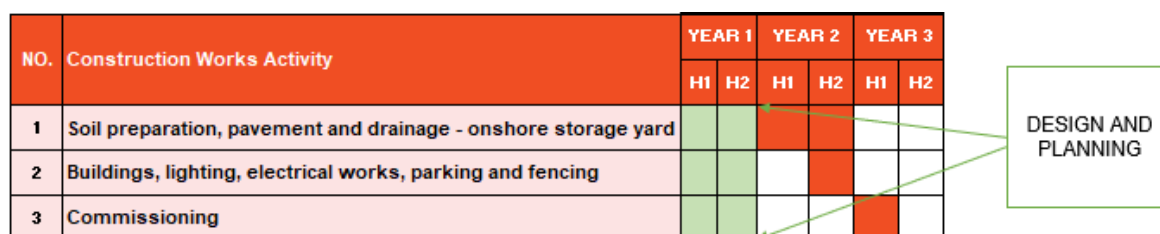


Figura 4-40 : Cronograma indicativo de construção para o Cenário Nearshore 2 – Porto de Imbituba

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.7.7 Considerações sobre operação e manutenção

A localização do Porto de Imbituba permite que ele atenda potencialmente à parte norte das Zonas Eólicas Offshore (OWZ) na região sul. Se Imbituba desenvolver um novo terminal dedicado à energia eólica nearshore, não haverá espaço disponível para um cais de O&M. Portanto, o porto de O&M poderia ser implementado no porto de Laguna (consulte a seção 4.7.1), um porto secundário menor, mais ao sul, de propriedade do Porto de Imbituba. Se, no entanto, Imbituba não desenvolver um novo terminal eólico nearshore dedicado, poderá haver espaço disponível para um berço de O&M. Em ambos os casos, os requisitos típicos incluem o seguinte:

- Berço dedicado capaz de acomodar CTVs ou SOVs (consulte a seção 2.4)
- Terreno disponível tanto para escritórios quanto para oficinas
- Pátio de armazenamento (< 2 ha) para abrigar peças de reposição para parques eólicos offshore.

O cumprimento dos critérios acima indicados terá um custo aproximado de 25 milhões de dólares americanos. Embora as melhorias para O&M possam ser realizadas dentro do cronograma de construção do porto, caso sejam necessárias obras de modernização no Porto de Laguna, isso poderá levar aproximadamente 1,5 ano para ser concluído.

4.7.8 Resumo

Tabela 4-39 resume os custos, o cronograma de construção e apresenta observações críticas pertinentes às soluções propostas.

Tabela 4-39 : Resumo das soluções propostas – Porto de Imbituba

Plano conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Nearshore 1 (6-8 MW)	154,0	5,0 anos	Propõe um terminal dedicado a empreendimentos nearshore para a região sul. Exigiria a extensão do quebra-mar e uma estrutura de interface secundária entre o cais existente para fins de recuperação de terras. Esses dois aspectos, por si só, resultam em uma solução muito mais cara do que os portos anteriores. Exigiria a realocação da operadora de contêineres existente para o Berço 3, a fim de garantir espaço adequado para as atividades de descarga, pré-montagem e carregamento. O custo dessa realocação ainda não foi calculado. A nova infraestrutura pode ser adaptada para o manuseio de contêineres, granéis e carga geral caso os projetos de OW sejam limitados.
Nearshore 2 (6-8 MW)	35,5	2,5 anos	Propõe o uso do cais existente: compartilhamento das instalações existentes com vários operadores de terminais. Oferece uma solução mais rápida e econômica, desde que a infraestrutura do cais esteja disponível para uso. A disponibilidade limitada do cais pode afetar os prazos de construção dos Nearshore. Ainda seria necessário o desenvolvimento de uma área de armazenamento em terra.
O&M	25,0	1,5 anos (Modernizações do Porto de Laguna)	Espaço limitado disponível para O&M caso o terminal eólico próximo à costa seja construído. Possível realocação para o Porto de Laguna (de propriedade do Porto de Imbituba).

Figura 4-41 apresenta uma visão geral gráfica dos resultados apresentados em 4.7.8 .

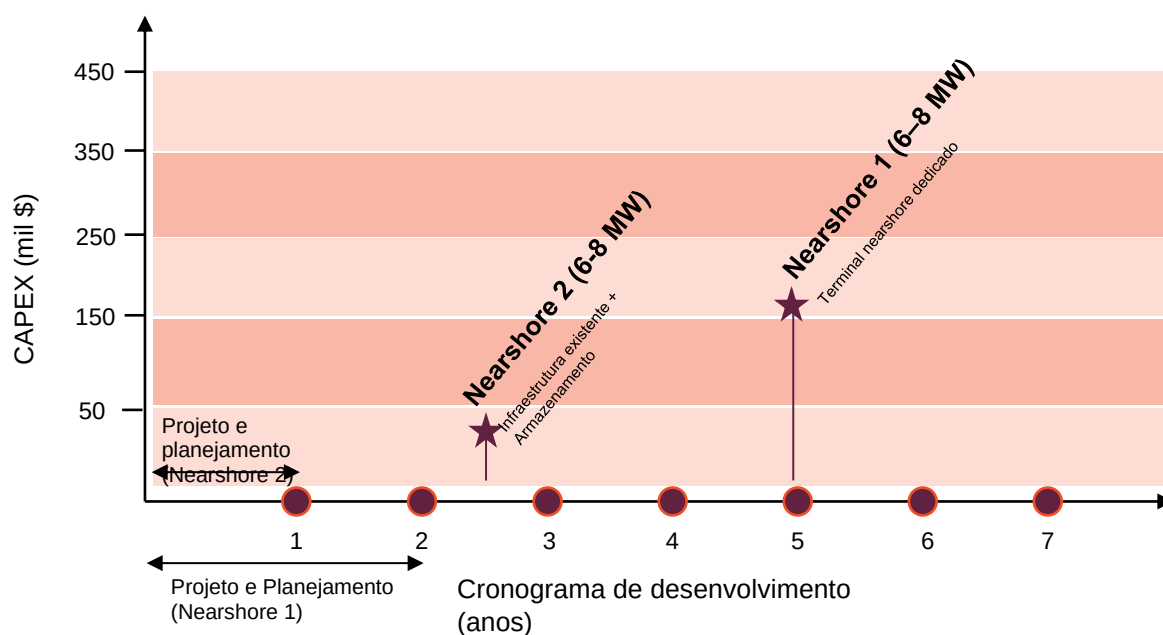


Figura 4-41 : Resumo das conclusões - Porto de Imbituba

4.8 Rio Grande

4.8.1 Visão geral do porto

O Porto do Rio Grande está localizado no Estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil, e é administrado pela Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). O Porto do Rio Grande é um importante porto de águas profundas no Brasil e funciona como um centro de conexões para o sul da América Latina e para os portos interiores brasileiros.

O porto está situado na Lagoa dos Patos e é conectado ao Oceano Atlântico por meio do canal de maré. O canal de entrada do porto é protegido por dois grandes quebra-mares. O complexo portuário de Rio Grande está organizado em quatro áreas distintas: Porto Velho, Porto Novo, Superporto e São José do Norte, conforme ilustrado em Figura 4-42. Essas áreas apresentam características diferentes e atendem a diversos segmentos de mercado.



Figura 4-42 : Divisão do Porto do Rio Grande em 4 áreas distintas (Fonte: Ministério da Infraestrutura et al., 2020).

Porto Velho (Porto Antigo) é composto por vários cais que atualmente não estão em operação para o manuseio de cargas comerciais devido ao seu calado limitado. Atualmente, essa área é dedicada a atividades pesqueiras, terminais de passageiros, funções militares e navegação em vias navegáveis interiores.

Porto Novo e Superporto são as principais áreas portuárias comerciais e industriais, onde estão localizados diversos terminais e cais. A área de São José do Norte está reservada principalmente para os futuros planos de expansão do porto. Essa área representa uma reserva estratégica para futuros desenvolvimentos dentro da Área Portuária Organizada.

4.8.2 Instalações portuárias existentes

As principais áreas portuárias podem receber embarcações com as seguintes dimensões de projeto:

- Superporto => Comprimento x Largura x Calado = 300 m x 52 x 13,1 m
- Porto Novo => Comprimento x Largura x Calado = 240 m x 37,5 x 9,45 m

Porto Velho e Novo apresentam restrições de navegação e operacionais. Portanto, esta avaliação se concentrará apenas nas áreas de Superporto e São José do Norte.

O Superporto está localizado próximo ao canal de acesso e constitui a principal área portuária industrial de águas profundas. Essa área é composta por vários terminais especializados que movimentam principalmente grãos sólidos, grãos líquidos, cargas industriais, contêineres e produtos químicos.

A área de São José do Norte, por outro lado, permanece em grande parte subdesenvolvida. O único terminal atualmente em operação são as instalações do estaleiro EBR.

A Autoridade Portuária já selecionou dois terminais existentes que poderiam apoiar as atividades de OW na região Sul. Ambos os terminais são estaleiros existentes com características técnicas relevantes que buscam novas oportunidades devido à queda na demanda do mercado de construção naval.

Ambas as instalações possuem amplas áreas de pátio de armazenamento, acesso direto à orla, instalações de guindastes e parede de cais projetada para acomodar operações industriais pesadas e de construção naval. As características técnicas dos berços estão resumidas na Tabela 4-40 .

Tabela 4-40 : Porto do Rio Grande - Características dos berços do estaleiro

Terminal	Instalações existentes	Comprimento do berço [m]	Profundidade do berço [m]	Capacidade de carga [tm/m ²]	Área do pátio
Estaleiro EBR	Guindastes pesados, área de armazenamento para cargas pesadas e armazéns	530	12	Desconhecido, mas previsto > 10	165 ha no total 40 ha parcialmente urbanizados 10 ha de área para uso pesado
		120	5	Desconhecido	
		250		Desconhecido, mas previsto > 10	
Estaleiro Ecovix	Guindastes pesados, área de armazenamento para cargas pesadas, doca seca e armazéns	350	12,5	Desconhecido, mas previsto > 10	100 ha no total 40 ha de armazenamento
		320	10	Desconhecido, mas previsto > 10	

A autoridade portuária está buscando ativamente investimentos e oportunidades para esses terminais. Como o estaleiro possui características muito boas, esta avaliação se concentrará exclusivamente nas instalações do Estaleiro EBR. Observe que o Estaleiro Ecovix também poderia ser desenvolvido como um terminal OW, dado que ambas as instalações apresentam características semelhantes. Figura 4-43 mostra a localização e a extensão do Estaleiro EBR.



Figura 4-43 : Localização do Estaleiro EBR. Fonte 1: Google Earth; Fonte 2: (Portos RS - Autoridade Portuária dos Portos do Rio Grande do Sul, 2026) .

4.8.3 Análise de lacunas portuárias

Tabela 4-41 resume os principais requisitos funcionais utilizados para avaliar a adequação do Porto do Rio Grande e, em particular, da infraestrutura portuária existente do Estaleiro EBR aos requisitos típicos de portos para construção de projetos Large Offshore e Nearshore.

Tabela 4-41 : Análise de lacunas do estaleiro EBR para energia eólica offshore. **Vermelho** = restrição significativa; **âmbar** indica uma restrição moderada que requer avaliação adicional; **amarelo** indica uma restrição potencial ou menor a ser monitorada.

Propriedade	Unidade	Existente	Referência OW grande	Referência Nearshore (requisito mínimo)	Comentário
Distância até o parque eólico offshore	km	< 200	<200	<200	Localização ideal para os parques eólicos offshore do sul
Profundidade do canal	m LAT	16	> 12,5	8	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Largura do canal de acesso	m	230	> 200	160	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Raio de giro	m	> 400	400	200	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Comprimento do berço (estaleiro EBR)	m	530	400–500	180	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
Profundidade no cais (estaleiro EBR)	m LAT	12	> 12	6	Alinhado com o parâmetro de referência. Pode ser necessária uma avaliação para o aprofundamento do cais para grandes embarcações de alto mar. Acima do parâmetro de referência para Nearshore.
Capacidade de suporte (cais)	t/m ²	Desconhecida, mas estimada em > 10	10-15	5	Espera-se que esteja alinhado com o valor de referência, mas precisa ser confirmado.
Reforço do leito marinho	-	Não especificado	Obrigatório	Obrigatório	É necessária uma avaliação para determinar se será necessário o reforço do leito marinho para os pés da plataforma elevatória.

Área total do estaleiro existente	Ha	> 40	30-40	15-20	Acima do valor de referência, não são necessárias medidas.
--	----	------	-------	-------	--

Os resultados da Tabela 4-41 mostram que as dimensões gerais de navegação e infraestrutura marítima do estaleiro são adequadas tanto para projetos tanto Large Offshore quanto para nearshore. No entanto, é necessária uma avaliação mais detalhada para verificar algumas propriedades-chave para Large Offshore, a saber, a capacidade de carga e a profundidade máxima no cais. A escala e a geometria das áreas do estaleiro oferecem espaço suficiente para designar áreas exclusivas de atracação e armazenamento para operações relacionadas à energia eólica offshore.

4.8.4 Conceito e Requisitos de Modernização – Large Offshore

4.8.4.1 Large Offshore – Layout conceitual

A localização e as características técnicas do Estaleiro EBR tornam-no um forte candidato para apoiar empreendimentos de energia eólica offshore (OW) na região sul.

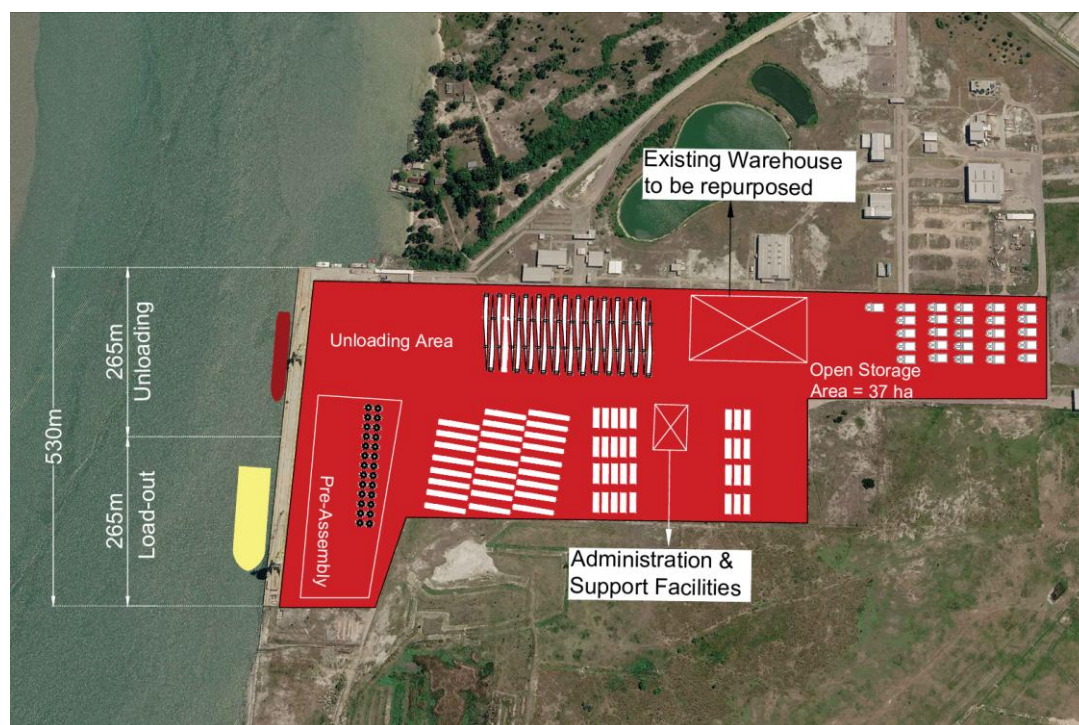


Figura 4-44 Conceito portuário do estaleiro EBR do Porto do Rio Grande para a construção de parques eólicos offshore

Figura 4-44 mostra a extensão do terminal de energia eólica offshore proposto no estaleiro EBR.

Observe que, embora uma área de armazenamento dedicada tenha sido identificada como parte da solução, esperamos que toda a zona forme uma solução integrada, com o potencial de abrigar centros de fabricação de energia eólica offshore à medida que o mercado brasileiro de energia eólica offshore amadureça.

O conceito de terminal eólico offshore, conforme mostrado na figura abaixo, teria as seguintes características principais:

Tabela 4-42 Principais características do conceito Large Offshore

Elemento	Capacidade
----------	------------

Profundidade da água no cais	-12 m LAT (profundidade de projeto existente)
Área de armazenamento	37 ha
Comprimento do cais	530 m
Capacidade de carga do cais	10 a 15 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- Atividades de dragagem da área existente em frente ao muro do cais
- Replanejamento e preparação do solo, pavimentação e drenagem da área do pátio de 27 ha (10 ha de área para tráfego pesado já estão prontos)
- Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

Nota 1: Não há necessidade de construir um novo cais.

Nota 2: Podem ser necessárias pequenas modificações/melhorias no cais para melhor acomodar os WTIVs e na infraestrutura associada do cais para facilitar as operações de descarga e carregamento – isso ainda não foi orçado.

4.8.4.2 Large Offshore – Custos e Cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento.

Tabela 4-43 mostra a estimativa de custos para o Estaleiro EBR.

Tabela 4-43 : Estimativa indicativa de custos para um terminal OW – Estaleiro EBR no Porto de Rio Grande

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Dragagem	9,5
2	Replanejamento e preparação do solo, pavimentação e drenagem da área do pátio	38
3	Edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas	12
4	Montagem e desmontagem (8%)	4,5
TOTAL		64

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-43 , foi elaborado um cronograma de alto nível para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-45 .



Figura 4-45 : Cronograma indicativo de construção para um terminal de OW – Estaleiro EBR no Porto de Rio Grande

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso do espaço e as aprovações ambientais não estão

incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, essas autorizações podem atrasar o início da construção.

4.8.5 Conceito e requisitos de modernização – Energia eólica nearshore

Um terminal nearshore poderia ser desenvolvido no Estaleiro EBR como um ponto de entrada de menor custo e mais rápido, com infraestrutura escalável para projetos offshore de grande porte à medida que a demanda do mercado crescer.

4.8.5.1 Nearshore – Layout conceitual

O terminal eólico nearshore teria as seguintes características principais:

Tabela 4-44 Principais características do conceito de Nearshore

Elemento	Capacidade
Profundidade da água no cais	-9 m LAT (profundidade atual)
Área de armazenamento em terra	20 ha
Comprimento do cais	530 m
Capacidade de carga do cais	10 t/m ²

As melhorias necessárias para este conceito incluem:

- Replanejamento e preparação do solo, pavimentação e drenagem da área de pátio de 10 ha (já existe uma área de 10 ha destinada a tráfego pesado)
- Construção de edifícios, iluminação, instalações elétricas, estacionamento e cercas

4.8.5.2 Custo e cronograma

Com base nos requisitos de modernização, foi elaborada uma visão geral indicativa dos custos de construção e um cronograma de desenvolvimento

Tabela 4-45 apresenta a estimativa de custos para o Estaleiro EBR.

Tabela 4-45 : Estimativa indicativa de custos para o terminal eólico offshore – Estaleiro EBR no Porto de Rio Grande

N.º	Construção	Custo (milhões de dólares)
1	Replanejamento, pavimentação e drenagem da área do pátio	15,5
2	Edifícios, iluminação, obras elétricas, estacionamento e cercas	10
3	Mobilização e desmobilização (8%)	2
TOTAL		27,5

A partir dos itens de construção destacados em Tabela 4-45, foi elaborado um cronograma geral para as principais obras que compõem o caminho crítico – consulte Figura 4-46.

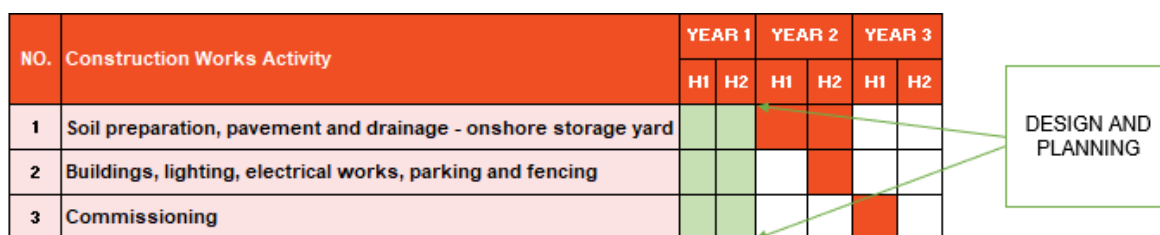


Figura 4-46 : Cronograma indicativo de construção do terminal eólico offshore – Estaleiro EBR no Porto de Rio Grande

Foi incluída uma margem de um ano para financiamento, planejamento de desenvolvimento e trabalhos de projeto. As autorizações de uso da área e as aprovações ambientais não estão incluídas e devem ser obtidas separadamente antes do início da construção. É importante observar que, dependendo do regime regulatório aplicável e do procedimento específico, esses trâmites podem atrasar o início da construção.

4.8.6 Considerações sobre Operação e Manutenção

O estaleiro EBR ocupa uma posição estratégica devido à sua proximidade com as zonas eólicas offshore na região sul. Assim, o porto também pode servir como porto de O&M. Isso exigirá um berço dedicado à O&M e uma área de armazenamento associada – consulte a seção 2.4 para conhecer os requisitos técnicos. Com base na infraestrutura marítima atual do Estaleiro EBR, essa instalação pode ser acomodada com um investimento de capital mínimo para pequenas melhorias/reparos no cais, além da inclusão de armazéns e escritórios. Os custos estão estimados em cerca de 5 milhões de dólares, com um prazo de aproximadamente 2 anos (incluindo planejamento e licenciamento).

4.8.7 Resumo

Tabela 4-46 resume os custos, o cronograma de construção e apresenta observações críticas pertinentes às soluções propostas.

Tabela 4-46 : Resumo das soluções propostas – Estaleiro EBR no Porto de Rio Grande

Layout conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
Large Offshore	64,0	3,0 anos	O Estaleiro EBR está subutilizado e busca ativamente novos negócios. A solução proposta envolve um terminal dedicado à energia eólica offshore. As instalações existentes no Estaleiro EBR são adequadas e, portanto, requerem pouco investimento de capital para atender aos requisitos técnicos. Grande área disponível para pátio de armazenamento. A nova infraestrutura pode ser adaptada para o manuseio de contêineres, granéis e carga geral caso os projetos de energia eólica offshore sejam limitados. O menor CAPEX entre todos os cenários de Large Offshore deste estudo.
Nearshore	27,5	2,5 anos	A solução proposta requer um investimento limitado para atender aos requisitos de Nearshore e pode entrar em operação em um prazo mais curto. Grande área disponível para pátio de armazenamento.

Layout conceitual	Custo (milhões de dólares)	Cronograma	Observações críticas
			Atualmente, não há outros operadores de terminais com os quais competir.
O&M	5,0	2,0 anos	Espaço disponível no Estaleiro EBR para berço e instalações de O&M, inclusive no caso de soluções de construção para Large Offshore ou Nearshore. Provisão de custos para pequenas melhorias no cais, armazenamento e espaço para escritórios.

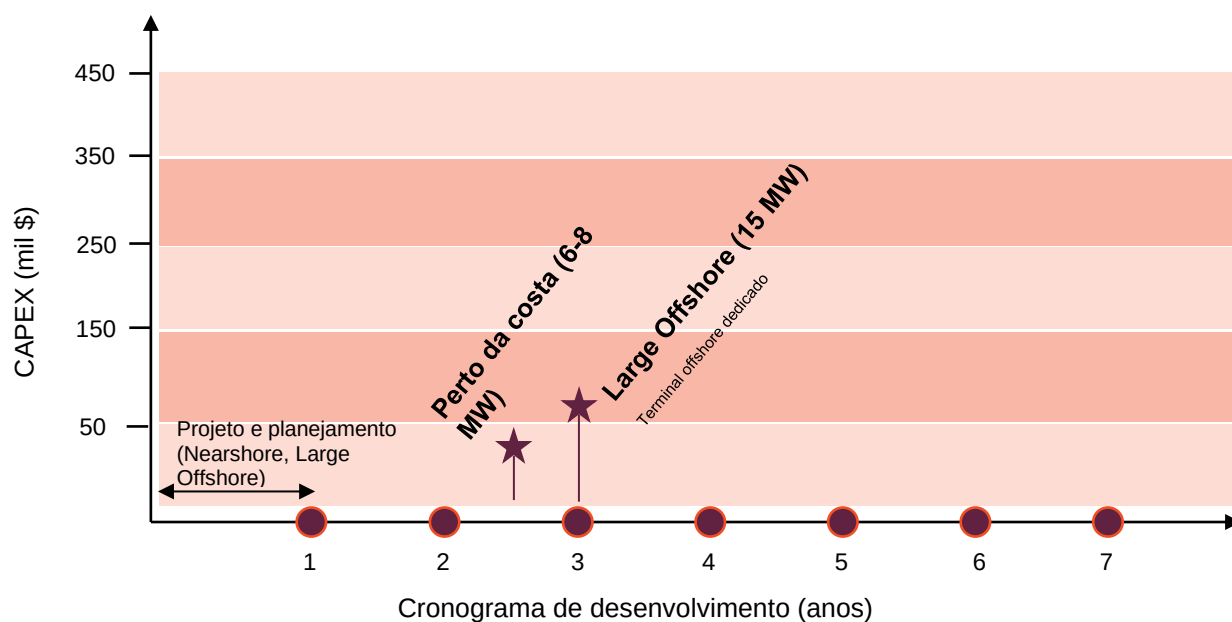


Figura 4-47 : Resumo das conclusões - Porto de Rio Grande (Estaleiro EBR)

4.9 Resumo dos custos estimados e cronogramas

Para **Large Offshore**, um resumo dos custos e prazos indicativos para cada um dos portos analisados está apresentado na tabela abaixo.

Tabela 4-47 Resumo dos custos e cronogramas para conceitos de grandes parques eólicos offshore

Região	Porto	Cenário	Custo indicativo (milhões de dólares)	Prazo indicativo
Nordeste	Pecém	Terminal dedicado à energia eólica offshore	356,5	6,5 anos
	Suape	Terminal dedicado à energia eólica offshore	187,5	5,5 anos
Sudeste	Porto Central	Terminal dedicado à energia eólica offshore	142,5	5,5 anos
	Açu	Terminal dedicado à energia eólica offshore	129,0	4,5 anos
Sul	Imbituba	Não viável	—	—
	Rio Grande (Estaleiro EBR)	Terminal dedicado à energia eólica offshore	64,0	3,0 anos

Para **Nearshore**, um resumo dos custos e prazos indicativos para cada um dos portos analisados está apresentado na tabela abaixo.

Tabela 4-48 Resumo dos custos e prazos para conceitos Nearshore

Região	Porto	Cenário	Custo indicativo (milhões de dólares)	Prazo indicativo
Nordeste	Pecém	Cenário 1 — Novo muro de cais dedicado	91,0	4,5 anos
	Pecém	Cenário 2 — Infraestrutura compartilhada da TMUT	35,5	2,5 anos
	Suaape	Cenário 1 — Terminal dedicado, Berço 7	93,5	4,5 anos
	Suaape	Cenário 2 — Infraestrutura existente compartilhada	37,5	2,5 anos
Sudeste	Porto Central	Terminal nearshore dedicado	94,5	4,5 anos
	Açu	Cenário 1 — Terminal nearshore dedicado	71,5	3,5 anos
	Açu	Cenário 2 — Infraestrutura compartilhada do T-MULT	37,5	2,5 anos
Sul	Imbituba	Cenário 1 — Nova recuperação e parede do cais	154,0	5,0 anos
	Imbituba	Cenário 2 — Uso compartilhado da infraestrutura existente	35,5	2,5 anos
	Rio Grande (Estaleiro EBR)	Terminal dedicado em águas rasas	27,5	2,5 anos

5 Estrutura regulatória, institucional e de propriedade

5.1 Introdução

O desenvolvimento da infraestrutura portuária para a energia eólica offshore no Brasil requer marcos regulatórios, institucionais e de propriedade favoráveis e bem coordenados. Este capítulo examina os marcos legais e regulatórios que regem os portos e as atividades de energia eólica offshore no Brasil, com foco em alinhamentos e gargalos.

A Seção 5.2 apresenta uma visão geral do marco regulatório vigente para o sistema portuário brasileiro e a geração de energia eólica offshore, incluindo as implicações dos recentes avanços regulatórios, e identifica as principais lacunas políticas. A Seção 5.3 examina a estrutura de governança portuária e os instrumentos de planejamento do Brasil, incluindo a distinção entre Portos Públicos Organizados e Terminais de Uso Privado (TUPs), e avalia as implicações práticas de cada modelo para o cronograma e a estruturação dos investimentos portuários. A Seção 5.4 apresenta estudos de caso internacionais de mercados de energia eólica offshore já consolidados, extraindo lições relevantes para o contexto brasileiro. A Seção 5.5 examina as estruturas de propriedade e as características regulatórias dos seis portos pré-selecionados. A Seção 5.6 traduz essas conclusões em modelos de desenvolvimento portuário, avaliando os papéis que os portos podem desempenhar na cadeia de valor da energia eólica offshore e os mecanismos de incentivo e concorrência disponíveis para estimular o investimento portuário no atual ambiente de mercado.

Juntas, essas seções fornecem uma avaliação abrangente do ambiente regulatório e institucional no qual os investimentos portuários relacionados à energia eólica offshore no Brasil devem ser estruturados e constituem a base para as recomendações de políticas apresentadas no Capítulo 6.

5.2 Marco regulatório existente

Esta seção oferece uma visão geral do marco jurídico e regulatório brasileiro que rege os portos e as atividades de energia eólica offshore, com foco em como as regras existentes moldam o desenvolvimento de infraestrutura portuária capaz de apoiar projetos de energia eólica offshore. Considerando que a legislação brasileira é altamente codificada e conta com a participação de diversos órgãos governamentais, esta seção destaca os papéis institucionais, o relacionamento entre as partes interessadas nos diferentes níveis de governo (ou seja, federal, estadual e municipal) e explica como os instrumentos jurídicos relevantes se relacionam entre si.

5.2.1 Visão geral da legislação portuária brasileira

A regulamentação portuária brasileira tem suas raízes na Constituição Federal de 1988, que centraliza a autoridade sobre os portos no âmbito federal. De acordo com o Artigo 21º, inciso XII, os portos marítimos, fluviais e lacustres são bens de interesse estratégico nacional, operáveis apenas pelo Governo Federal (a “União”) ou por meio de instrumentos legalmente definidos, como concessões, arrendamentos ou autorizações. Essa estrutura constitucional explica por que a regulamentação portuária é uniforme em todo o país e regida principalmente pela legislação federal.

O Sistema Portuário brasileiro era tradicionalmente composto por portos estatais com estruturas centralizadas, incluindo a holding federal PORTOBRAS (criada em 1975), onde a participação do setor privado se restringia, em grande parte, a terminais dedicados ao manuseio de cargas próprias do investidor.

Antes desse modelo centralizado, o marco jurídico já havia começado a acomodar a participação privada, o que constitui um desenvolvimento particularmente relevante para os fins deste trabalho. A participação do setor privado limitava-se inicialmente a terminais dedicados que movimentavam cargas próprias do investidor. Um marco significativo ocorreu em 1966, quando entidades privadas foram autorizadas pela primeira vez a construir ou operar instalações portuárias na forma de Terminais de Uso Privado (TUPs) (explicado mais detalhadamente na Seção 5.3.1), e em 1969, quando a movimentação de cargas de terceiros nos TUPs passou a ser permitida — uma mudança que lançou as bases para o atual modelo regulatório.

Após a dissolução da PORTOBRAS em 1990, a Lei nº 8.630/1993 (a “Antiga Lei dos Portos”) desmantelou o monopólio estatal e introduziu a participação privada por meio de um **modelo de porto locador**, no qual as autoridades portuárias mantinham a gestão da infraestrutura, enquanto o manuseio de cargas era aberto a operadores privados. O marco regulatório introduzido pela Antiga Lei dos Portos foi substancialmente reestruturado duas décadas depois, com a promulgação da Lei nº 12.815, de 5 de junho de 2013 (a atual “Lei dos Portos”), que revogou a lei anterior e consolidou o regime jurídico vigente.

A Lei dos Portos reafirmou o papel estratégico do Governo Federal no planejamento e na regulamentação, ao mesmo tempo em que reduziu ainda mais as barreiras à entrada do setor privado e aumentou a flexibilidade operacional. Ela esclareceu a distribuição institucional de funções no âmbito federal:

- O Ministério dos Portos e Aeroportos (MPOR) passou a ser responsável pela formulação da política portuária e pelo planejamento estratégico;
- A ANTAQ recebeu competência sobre a regulamentação, supervisão e fiscalização dos serviços portuários, arrendamentos, concessões e autorizações, incluindo a fiscalização tarifária e o cumprimento das obrigações de serviço;
- As autoridades portuárias mantiveram a gestão da administração local, do zoneamento e da infraestrutura de uso comum dentro dos Portos Organizados.

Isso é ilustrado na figura abaixo.

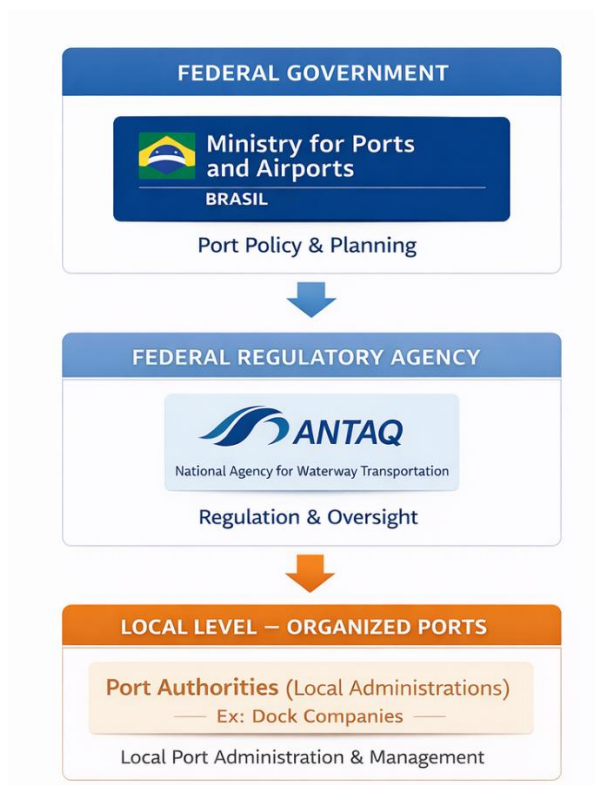


Figura 5-1 Níveis institucionais de governança portuária

Uma das inovações mais significativas da Lei dos Portos foi a eliminação das distinções funcionais entre os diferentes tipos de TUPs. Ao contrário da antiga Lei dos Portos, que impunha restrições ao manuseio de cargas de terceiros por terminais privados, o marco legal atual permite que as TUPs manuseiem livremente tanto cargas próprias quanto de terceiros, sujeitas a um regime de autorização, em vez de concessão ou arrendamento. Essa mudança ampliou significativamente as oportunidades de investimento fora dos Portos Organizados — as áreas portuárias públicas delimitadas, dentro de um polígono definido, operadas por uma administração portuária para uso público geral (explicado mais detalhadamente na Seção 5.3.1) — e reforçou a concorrência entre terminais dentro e fora do polígono portuário público. As regras detalhadas para concessões, arrendamentos e autorizações foram aprimoradas pelo Decreto nº 8.033/2013 (o “Decreto Portuário”), que continua sendo o principal regulamento de implementação da Lei Portuária.

Três mecanismos contratuais principais regem a infraestrutura portuária no Brasil: **concessões** (para Portos Organizados inteiros, concedidas por meio de processo de licitação pública, com prazos contratuais prorrogáveis até 70 anos, incluindo renovações; exemplos incluem o Porto de Rio Grande e o Porto de Suape); **arrendamentos** (para áreas ou instalações específicas dentro dos Portos Organizados, também por meio de licitação, com prazos prorrogáveis até 70 anos; operados pela autoridade portuária por meio de um modelo de locador); e **autorizações** (para TUPs, concedidas diretamente pelo Governo Federal por meio de contrato de adesão sem licitação pública, sob um regime predominantemente de direito privado; exemplos incluem o Porto de Açu, o Porto de Pecém e o Porto Central).

5.2.2 Visão geral do marco jurídico brasileiro para a energia eólica offshore

Até muito recentemente, o Brasil não possuía um marco jurídico específico para a energia eólica offshore, mas apenas um conjunto fragmentado de decretos federais, normas marítimas e legislação ambiental. Essa lacuna regulatória existia apesar do extenso litoral brasileiro e de um dos maiores potenciais de energia eólica offshore do mundo, e representava um obstáculo central ao desenvolvimento de projetos, ao financiamento e ao planejamento da cadeia de suprimentos, incluindo investimentos em infraestrutura portuária.

De acordo com a Constituição brasileira, as áreas marítimas (ou seja, o mar territorial, a plataforma continental e a zona econômica exclusiva) são bens de propriedade do Governo Federal.

Brazilian Maritime Jurisdiction

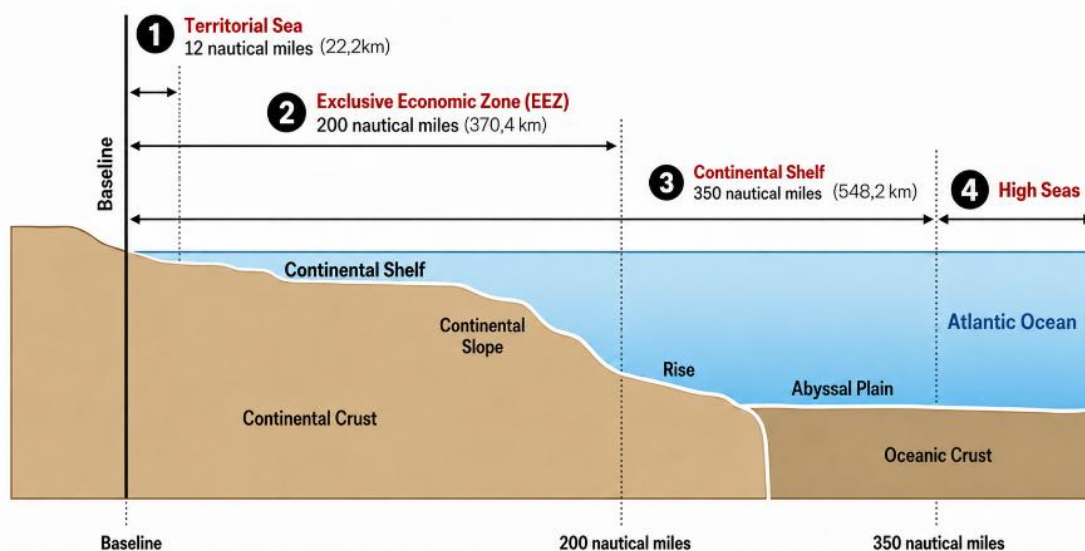


Figura 5-2 Jurisdição Marítima Brasileira

Qualquer exploração econômica dessas áreas requer, portanto, um título legal formal concedido pela União. Antes da adoção de um regime específico para a energia eólica offshore, os desenvolvedores careciam de um mecanismo jurídico claro para garantir direitos exclusivos e de longo prazo de uso das áreas marítimas para geração de energia eólica, o que prejudicava a segurança jurídica e desestimulava investimentos intensivos em capital. O licenciamento ambiental podia ser iniciado, mas, sem direitos garantidos sobre as áreas, os projetos enfrentavam incertezas significativas nas fases posteriores de desenvolvimento.

Os projetos de energia eólica offshore apresentam um marco institucional particularmente complexo devido às suas características inerentes. Desenvolvidos no ambiente marinho e envolvendo infraestrutura de grande escala para geração de eletricidade, esses projetos envolvem simultaneamente competências constitucionais, setoriais e regulatórias distribuídas entre múltiplas autoridades e níveis de governo, incluindo, mas não se limitando a:

- Ministério de Minas e Energia ("MME") no que diz respeito à política energética,
- a Agência Nacional de Energia Elétrica ("ANEEL") no que diz respeito à geração de energia e à conexão à rede,
- o órgão federal de meio ambiente "IBAMA" no que diz respeito ao licenciamento ambiental,
- a Marinha do Brasil no que diz respeito à segurança da navegação e à ordem marítima, entre outros.

Cada autoridade opera sob um mandato legal e um marco processual distintos, o que gera desafios de coordenação na ausência de um mecanismo legalmente previsto.

Em janeiro de 2025, a Lei nº 15.097/2025 ("Lei da Energia Eólica Offshore") estabeleceu o primeiro marco legal abrangente do Brasil para a geração de energia eólica offshore. A lei reconhece formalmente a energia eólica offshore como uma atividade econômica regulamentada e cria mecanismos legais para o uso de bens do Governo Federal na geração de eletricidade a partir de projetos offshore. Seu escopo abrange todas as zonas marítimas sob jurisdição brasileira e se aplica igualmente a investidores nacionais e estrangeiros.

O novo marco introduz um **modelo dual** para a alocação de áreas eólicas offshore:

- *Modelo de Oferta Permanente*: o órgão concedente delimita os prismas para exploração com base na solicitação dos interessados, por meio de autorização.
- *Modelo de Oferta Planejada*: a autoridade concedente oferece prismas pré-delimitados para exploração de acordo com o planejamento espacial do órgão competente, por meio de concessão, através de processo licitatório.

A concessão de direitos sobre áreas eólicas offshore está sujeita a encargos governamentais que refletem a propriedade pública dos ativos marítimos: (i) um Bônus de Assinatura, descrito no protocolo de licitação e equivalente ao valor oferecido na proposta; (ii) uma Taxa Anual de Ocupação da Área, calculada em R\$/km²; e (iii) uma Participação Proporcional Mensal a partir da data de operação comercial, correspondente a uma porcentagem do valor da energia gerada.

O licenciamento ambiental continua sendo obrigatório e independente da alocação de áreas: os desenvolvedores devem comprovar a compatibilidade com outros usos marítimos, incluindo navegação, pesca, atividades de petróleo e gás e áreas de proteção ambiental. Um passo fundamental para uma maior consistência nesse processo foi a publicação, em novembro de 2020, dos Termos de Referência (ToR) padronizados para Estudos de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) aplicáveis a complexos eólicos offshore, o que trouxe maior previsibilidade às avaliações e contribuiu para um aumento significativo nos pedidos de licenciamento nos anos subsequentes. No entanto, ainda faltam orientações setoriais específicas para o licenciamento ambiental de infraestrutura portuária associada à energia eólica offshore — abrangendo obras de expansão, modernização de cais e desenvolvimento de novos terminais —, o que significa que o licenciamento portuário é avaliado caso a caso, sem uma metodologia padronizada.

A regulamentação secundária é fundamental para a eficácia do novo marco regulatório. Um passo significativo foi dado em 1º de abril de 2026, quando o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) aprovou uma resolução que estabelece diretrizes para regulamentar a Lei nº 15.097/2025, a primeira regulamentação secundária substantiva no âmbito da Lei de Energia Eólica Offshore. Entre outras diretrizes regulatórias, a resolução do CNPE estabeleceu uma distância de referência inicial de 12 milhas náuticas da linha costeira para a definição dos prismas eólicos offshore e atribuiu à Escola de Pesquisa Energética (EPE) a responsabilidade de realizar estudos que avaliem fatores técnicos, econômicos, ambientais e sociais. Ela também autoriza o CNPE a designar áreas prioritárias para o desenvolvimento eólico offshore sob um regime de oferta planejada. De acordo com a resolução, um projeto de decreto de implementação e o fluxo de aprovação das Declarações de Interferência Prévia (DIPs) devem ser elaborados até maio de 2026; em seguida, são esperados estudos de identificação de áreas e uma Portaria de Diretrizes do MME para o início dos leilões permanentes e programados. Até que esses instrumentos sejam plenamente promulgados, certos aspectos do desenvolvimento de projetos continuarão a depender de interpretação administrativa, e os participantes do mercado têm manifestado frustração com o ritmo do avanço regulatório. A Lei de Energia Eólica Offshore também contempla configurações em que a energia eólica offshore não se conecta à rede nacional (SIN) — por exemplo, configurações industriais dedicadas à produção de hidrogênio verde, fabricação de fertilizantes ou outras atividades de alto consumo de energia —, criando novas dimensões para o planejamento da infraestrutura portuária.

Espera-se que regulamentações futuras introduzam critérios para promover a indústria nacional brasileira (ou seja, o conteúdo local). Os requisitos de conteúdo local são diretamente relevantes para a infraestrutura portuária. Os portos são os principais nós em terra firme onde os requisitos de conteúdo local se materializarão, por meio de atividades de montagem, armazenamento, manuseio e fabricação de componentes. Espera-se que a concessão ágil de prismas incentive o desenvolvimento da indústria nacional e atraia empresas internacionais para fortalecer a base industrial do Brasil.

5.2.2.1 A CP 191 e o Tratamento da Infraestrutura Portuária na Seleção de Áreas

Em 2025, o MME abriu a consulta pública CP 191 para receber contribuições das partes interessadas sobre a metodologia para a seleção de áreas eólicas offshore, conforme proposto pelo Escritório de Pesquisas Energéticas (EPE). Surgiu um ponto de relevância direta para os portos: a metodologia do EPE tratava a distância máxima até portos logísticos e a existência de

infraestrutura portuária adequada como um critério de eliminação econômico-energético na triagem de áreas.

Uma ampla coalizão de partes interessadas — incluindo ABEEólica, IBP, GWEC, UFRN, Optimum Renováveis, Shizen e Bravo Vento — argumentou que a ausência de infraestrutura portuária atual não deveria excluir áreas eólicas offshore que, de outra forma, seriam adequadas. Dados os longos prazos de desenvolvimento dos projetos eólicos offshore, os portos e a infraestrutura logística associada podem ser ampliados ou adaptados paralelamente ao desenvolvimento do projeto. Os participantes enfatizaram que a implantação da energia eólica offshore deve ser considerada não apenas como dependente da infraestrutura existente, mas também como um impulsionador para o desenvolvimento de novas capacidades industriais, logísticas e portuárias.

A posição consensual foi de que a infraestrutura portuária deveria orientar a seleção de áreas por meio de uma avaliação multidimensional, abrangendo a profundidade de calado, a disponibilidade de áreas industriais e logísticas no interior, a capacidade de transporte de cargas pesadas, a proximidade à rede de transmissão e as conexões rodoviárias, aplicada apenas para fins de priorização, e não como um filtro de exclusão.

Do ponto de vista das políticas, o CP 191 reforçou a necessidade de um planejamento coordenado entre o desenvolvimento da energia eólica offshore e a infraestrutura de apoio. A resolução do CNPE de 1º de abril de 2026 determinou formalmente que o Portal Único de Gestão Offshore (PUG-Offshore) — uma plataforma digital única para a gestão de projetos de energia eólica offshore — fosse colocado em operação pela instituição designada. Uma vez operacional, essa plataforma criaria um processo estruturado e previsível, vinculando a alocação de áreas para energia eólica offshore ao planejamento portuário e proporcionando visibilidade essencial para os investidores em infraestrutura.

5.2.2.2 Legislação estadual e apoio regulatório

Além da Lei de Energia Eólica Offshore, vários estados brasileiros estão promovendo políticas de energia renovável que podem apoiar ou se articular com o desenvolvimento da energia eólica offshore e o planejamento da infraestrutura portuária. Coletivamente, essas iniciativas estaduais ilustram um interesse crescente nas regiões costeiras do Brasil em apoiar a energia renovável e os objetivos climáticos alinhados com a agenda emergente da energia eólica offshore:

- **Estado do Rio de Janeiro:** O governador do Estado aprovou recentemente a Lei nº 11.095/2026, que institui a Política Estadual de Apoio à Transição Energética Offshore e ao Planejamento Territorial Marinho. A política organiza e fortalece a participação do Estado na transição energética offshore do Brasil, apoia o planejamento nacional das áreas de energia offshore, contribui com dados técnicos e socioambientais, promove o ordenamento territorial da zona costeira e inclui disposições para incentivar a capacitação da força de trabalho, a inovação e o desenvolvimento da cadeia de suprimentos local. Ao estabelecer um marco para o envolvimento subnacional na energia eólica offshore, mantendo-se dentro dos limites jurisdicionais federais, o Rio de Janeiro representa um exemplo proativo de preparação institucional em nível estadual para o emergente setor de energia eólica offshore.
- **Estado do Rio Grande do Norte:** Com base em sua ampla experiência em energia eólica e nas condições litorâneas favoráveis, o Rio Grande do Norte alcançou um marco nacional com a primeira licença ambiental concedida no Brasil para um projeto de energia eólica offshore (junho de 2025, emitida para uma iniciativa-piloto liderada pelo SENAI/RN). O estado também aprovou a Lei Estadual nº 12.336/2025 sobre hidrogênio verde e indústrias limpas relacionadas, refletindo um compromisso mais amplo com a transição energética e alinhando a energia eólica offshore a uma estratégia industrial e de exportação mais abrangente.
- **Estado do Rio Grande do Sul:** O governo assinou uma “Carta de Coalizão” (outubro de 2025, em conjunto com o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Norte) para o desenvolvimento integrado de projetos de energia eólica offshore, reforçando a coordenação entre governo, indústria e instituições de pesquisa no planejamento espacial marinho e na implantação de energias renováveis. Embora ainda não exista uma lei estadual específica para a energia

eólica offshore, esses avanços demonstram um crescente engajamento institucional e posicionamento estratégico, com implicações para futuros pólos industriais e infraestrutura portuária no corredor sul.

- **Estado do Ceará:** Embora o Ceará não tenha adotado legislação específica exclusivamente para a energia eólica offshore, seus marcos institucionais existentes, incluindo a política climática estadual e o planejamento coordenado de energias renováveis, cultivaram uma forte indústria eólica local e um ambiente colaborativo para a implantação de energia limpa. O papel do estado como acionista majoritário da CIPP S.A. (operadora do Porto de Pecém, tendo o Porto de Roterdã como acionista minoritário) posiciona ainda mais o Ceará como um ator significativo na agenda emergente da energia eólica offshore.

5.2.3 Implicações da regulamentação no desenvolvimento portuário relacionado à energia eólica offshore

A coexistência de um marco regulatório portuário consolidado e de um regime jurídico de energia eólica offshore recentemente estabelecido tem implicações diretas para o planejamento, o financiamento e a execução da infraestrutura portuária. Do ponto de vista jurídico, o sistema portuário brasileiro é, em princípio, capaz de abrigar toda a gama de atividades relacionadas à energia eólica offshore. Os Portos Organizados podem destinar áreas para pré-montagem de turbinas, operações de carga pesada, armazenamento de componentes e bases de operação e manutenção (O&M) por meio de contratos de arrendamento de longo prazo ou outros acordos contratuais. Os TUPs podem atuar como centros de energia eólica offshore sob regimes de autorização que permitem maior flexibilidade contratual e operacional.

Na prática, porém, a energia eólica offshore impõe requisitos que diferem substancialmente dos usos portuários tradicionais. Além do manuseio convencional de cargas, ela exige o acolhimento de componentes pesados e de grandes dimensões, cais reforçados capazes de suportar cargas excepcionais, grandes áreas contíguas de armazenamento, acesso para embarcações de instalação e manutenção altamente especializadas e instalações dedicadas para atividades de O&M de longo prazo. Trata-se de transformações estruturais, e não de adaptações marginais, que devem ser incorporadas em um estágio inicial de planejamento e apoiadas por investimentos de capital significativos. De acordo com a legislação brasileira, tais investimentos são normalmente realizados por operadores ou arrendatários privados de terminais, cuja disposição em comprometer capital depende em grande parte da previsibilidade da carteira de projetos de energia eólica offshore, da duração e estabilidade dos contratos de arrendamento portuário e da capacidade de garantir acordos comerciais de longo prazo com os desenvolvedores.

A Lei de Energia Eólica Offshore reduz a incerteza quanto ao acesso às áreas marítimas, mas, por si só, não resolve o desalinhamento temporal e estrutural entre os cronogramas dos projetos de energia eólica offshore e os ciclos de investimento portuário. Os projetos de energia eólica offshore envolvem longos prazos de desenvolvimento, enquanto os arrendamentos portuários e as autorizações estão sujeitos a restrições regulatórias, supervisão do direito público e, nos Portos Organizados, a procedimentos de licitação competitiva.

Os modelos de governança influenciam ainda mais a prontidão portuária: embora os TUPs continuem sujeitos à supervisão regulatória da ANTAQ e de outras autoridades públicas, eles normalmente permitem maior flexibilidade gerencial e decisões de investimento mais rápidas em comparação com os Portos Públicos Organizados. Em contrapartida, o desenvolvimento de infraestrutura nos Portos Organizados está sujeito ao modelo de governança portuária do “proprietário”, no qual as operações dos terminais são realizadas por meio de contratos de arrendamento concedidos por licitação pública e supervisionados por diversas instituições públicas. Como resultado, investimentos ou mudanças no uso dos terminais podem exigir análise regulatória pela ANTAQ e pelo MPOR, coordenação com diversas entidades públicas e adesão a instrumentos de zoneamento que talvez ainda não reflitam as necessidades da energia eólica offshore.

O desafio reside em alinhar a regulamentação portuária, a política de energia eólica offshore e a estratégia industrial, de modo que os portos funcionem como componentes integrais da cadeia de valor, em vez de prestadores de serviços passivos.

5.3 Visão geral da estrutura de governança portuária

Esta seção apresenta uma visão geral da estrutura de governança portuária brasileira, com foco na forma como as competências institucionais são distribuídas entre os diferentes atores. Ela explica como esse modelo de governança molda os processos de tomada de decisão e avalia suas implicações práticas para o cronograma dos investimentos em infraestrutura portuária.

5.3.1 Portos Organizados e Terminais de Uso Privado (TUPs)

Os portos brasileiros operam sob o marco institucional estabelecido pela Lei dos Portos e pelo Decreto dos Portos. O modelo combina uma abordagem de governança do tipo “proprietário” com significativa centralização federal no planejamento estratégico e na contratação.

A Lei dos Portos prevê duas categorias principais de infraestrutura portuária: **Portos Organizados** (administrados publicamente ou operados por concessionárias privadas sob o modelo de proprietário) e **Terminais de Uso Privado (TUPs)**, desenvolvidos e operados por entidades privadas fora dos limites dos portos organizados, sob um regime de autorização. Esses dois modelos coexistem dentro do mesmo sistema e refletem abordagens diferentes quanto à alocação de infraestrutura, investimentos, risco e controle regulatório.

A tabela abaixo resume as principais características desses dois modelos de governança.

Tabela 5-1 Principais características dos dois modelos de governança portuária

Critérios	Portos Organizados	TUPs
Modelo de concessão	Arrendamento por meio de licitação pública (pode incluir pagamento antecipado)	Autorização por meio de contrato de adesão com a ANTAQ (não é necessária licitação pública)
Administração portuária	Autoridade portuária pública ou privada	Operadora privada autorizada
Prazo	Até 50 anos (25 + 25), a critério da autoridade concedente – prorrogável com base em estudos de viabilidade	Períodos de 25 anos, renováveis (sujeitos a compromissos de investimento), sem reembolso
Regulamentação econômica	Sujeito às condições do contrato de concessão, incluindo a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro	Assunção total dos riscos comerciais pelo operador
Tarifas/Taxas Portuárias	Assunção total dos riscos operacionais pelo operador	Pagamento de tarifas portuárias e contribuições quase-fiscais (utilizadas para financiar a manutenção das instalações da autoridade portuária)
Fixação de preços	Monitorada pela agência reguladora (ANTAQ)	Monitorada pela ANTAQ (com liberdade de fixação de preços, sujeita às regras de concorrência)
Infraestrutura	Sujeita à reversão dos ativos ao Governo Federal	Sem reversão de ativos

Crítérios	Portos Organizados	TUPs
Clientes	Definidos pelo uso do porto e pelos parâmetros contratuais	Definidos pela utilização do porto e pelos parâmetros contratuais
Mão de obra	Sujeito ao sistema OGMO – estrutura de custos variáveis	Contratação livre – estrutura de custos fixos
Interação com o governo	Participação ativa no Conselho da Autoridade Portuária (CAP)	Participação normalmente como observador, sem direito a voto
Risco de investimento	Acesso ao financiamento do BNDES ⁶	BNDES / financiamento de projetos / garantias bancárias / taxas de juros mais altas
Órgãos de fiscalização	Os mesmos órgãos de controle para as operações + fiscalização do orçamento público	Mesmos órgãos de fiscalização operacional; capital totalmente privado

Conforme descrito anteriormente, a Lei dos Portos estabelece um regime dual que distingue as instalações portuárias de acordo com sua localização geográfica em relação aos limites (**poligonal**) de um porto organizado. Esse limite é juridicamente determinante, pois define qual regime regulatório se aplica a um determinado investimento portuário. As atividades localizadas dentro do polígono devem seguir o regime de porto organizado, enquanto as atividades fora do polígono podem ser desenvolvidas sob o regime de autorização aplicável às TUPs. Embora essa distinção determine o regime contratual aplicável, a estrutura de governança descrita nesta seção determina como as decisões são tomadas, como os instrumentos de planejamento operam e como os investimentos são aprovados ou modificados ao longo do tempo.

5.3.2 Distribuição institucional de competências

O marco de governança portuária distribui competências entre quatro atores institucionais principais: o Governo Federal, como autoridade concedente; a ANTAQ, como autoridade reguladora e supervisora; as autoridades portuárias, responsáveis pela administração local nos Portos Organizados; e os operadores privados, atuando por meio de instrumentos de arrendamento, concessão ou autorização. Esses atores desempenham funções distintas, mas interligadas, e a sequência em que suas aprovações são necessárias define, em última instância, o caminho prático para os investimentos portuários.

Governo Federal (MPOR): A autoridade concedente detém competência sobre o planejamento estratégico, a estruturação contratual e as modificações materiais que afetam os Portos Organizados. Suas competências incluem: definir e modificar os limites dos Portos Organizados por decreto presidencial; aprovar PDZs; emitir diretrizes de planejamento setorial alinhadas à política nacional de logística; e exercer autoridade sobre contratos de concessão e arrendamento, incluindo a aprovação de alterações materiais e mecanismos de reequilíbrio econômico-financeiro. Na prática, alterações substanciais em terminais arrendados — por exemplo, investimentos de capital significativos não previstos no contrato original, mudanças no perfil da carga, substituições de áreas ou ampliações — podem exigir aprovação em nível federal. Isso reflete a alocação centralizada de competências no âmbito da estrutura de governança portuária brasileira e limita a discricionariedade das autoridades portuárias locais para adaptar os acordos existentes relativos aos terminais em resposta a oportunidades impulsionadas pelo mercado.

ANTAQ: O órgão regulador setorial exerce funções de regulamentação e fiscalização nos termos da Lei nº 10.233/2001 e da Lei dos Portos. Nas Áreas Portuárias Organizadas, a ANTAQ é responsável por estruturar e conduzir licitações de arrendamento de acordo com as diretrizes da autoridade concedente; analisar e aprovar a documentação das licitações; supervisionar o

⁶ O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) é um banco público federal responsável por fornecer financiamento de longo prazo e apoio financeiro a projetos de infraestrutura, industriais e estratégicos no Brasil, incluindo os setores portuário e de logística.

cumprimento dos contratos; monitorar as tarifas e a qualidade do serviço; e garantir o acesso não discriminatório e a neutralidade competitiva. A Resolução da ANTAQ nº 127/2025 consolida o regime regulatório aplicável nas áreas portuárias organizadas e estabelece o conjunto completo de instrumentos disponíveis para a ocupação e o uso de espaços portuários públicos, incluindo arrendamentos, contratos de uso temporário, contratos de uso do espelho d'água, contratos de transição, contratos de passagem e o regime de uso público ocasional (tanto na modalidade eventual quanto na contínua). Coletivamente, esses instrumentos oferecem um conjunto graduado de opções para acomodar novas atividades nos Portos Organizados, variando do acesso não exclusivo de curto prazo à alocação de áreas dedicadas de longo prazo. A Decisão da ANTAQ nº 434/2023 abordou o tratamento regulatório das instalações portuárias destinadas a apoiar a energia eólica offshore, concluindo que o instrumento jurídico apropriado deve ser determinado caso a caso, distinguindo entre atividades operacionais (que podem exigir um contrato de arrendamento ou de uso temporário) e usos não operacionais (que podem ser formalizados por meio de um acordo de uso com a autoridade portuária).

Autoridades Portuárias: As autoridades portuárias desempenham funções administrativas em cada porto organizado — fazendo cumprir as leis e contratos aplicáveis, pré-qualificando operadores portuários, cobrando tarifas portuárias e supervisionando ou executando obras nas instalações portuárias e na infraestrutura de uso comum. Sua forma institucional varia: a maioria dos principais portos brasileiros é administrada por Companhias Docas (empresas estatais federais); alguns são administrados por entidades estaduais ou municipais delegadas (por exemplo, Paranaguá e Antonina — Governo do Paraná; Suape — Governo de Pernambuco); e, mais recentemente, o marco regulatório passou a abranger concessionárias privadas que atuam como autoridades portuárias sob modelos de concessão de porto integral (por exemplo, Porto de Vitória). Um instrumento central sob a responsabilidade das autoridades portuárias é o PDZ.

O Conselho da Autoridade Portuária (CAP), órgão consultivo que inclui representantes de autoridades públicas, operadores, usuários e trabalhadores, é instituído em cada porto organizado. De acordo com a Lei de Portos de 2013, o CAP passou de órgão deliberativo para meramente consultivo — uma mudança criticada por comentaristas que argumentam que ela privou as comunidades locais de influência significativa sobre as decisões portuárias, o que é considerado fundamental para o modelo de “landlord” em portos internacionais de referência, como Roterdã, Antuérpia e Houston.

A Lei Portuária de 2013 centralizou várias funções estratégicas no âmbito federal, a saber, planejamento, licitações e gestão de contratos, deixando as autoridades portuárias responsáveis principalmente pela administração operacional. Observou-se que esse modelo se assemelha, em alguns aspectos, à estrutura centralizada que existia no antigo sistema da PORTOBRAS e limita a autonomia gerencial tipicamente associada aos modelos portuários do tipo “landlord”. Um mecanismo de descentralização parcial introduzido pela Portaria nº 574/2018 permite que autoridades portuárias qualificadas realizem licitações de arrendamento de forma independente com base no Índice de Gestão da Autoridade Portuária (IGAP); em 2020, no entanto, apenas a Autoridade Portuária de Paranaguá e Antonina havia atendido aos requisitos de qualificação.

5.3.3 Instrumentos de planejamento portuário

O desenvolvimento portuário no Brasil é orientado por uma hierarquia de instrumentos de planejamento, estabelecida pela Portaria nº 61/2020:

Plano Diretor: Instrumento estratégico de planejamento em nível estadual elaborado para cada complexo portuário, identificando as necessidades de investimento de curto, médio e longo prazo com base em projeções de demanda de carga, restrições de capacidade e no papel estratégico do porto na logística regional. Atualizado a cada quatro anos, ele fornece a base analítica para outros instrumentos de planejamento portuário e serve de orientação para o PDZ.

Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZ): Instrumento de planejamento operacional elaborado pela autoridade portuária para cada porto organizado. O PDZ estabelece regras de zoneamento, define como as áreas portuárias podem ser alocadas entre diferentes atividades e inclui mapeamento georreferenciado de todas as áreas (disponíveis para

arrendamento, já arrendadas, áreas não operacionais e áreas de interesse estratégico para futura expansão). O PDZ deve ser consistente com as projeções de demanda do Plano Diretor e está sujeito à aprovação do Governo Federal. Qualquer uso proposto não contemplado no PDZ requer uma revisão formal antes que a área possa ser alocada.

Plano Geral de Concessões (PGO): Instrumento de planejamento de âmbito estadual que identifica as instalações portuárias que podem ser oferecidas ao setor privado por meio de concessões, arrendamentos ou autorizações. Atualizado a cada quatro anos, serve de referência para o programa de concessões e arrendamentos do Governo Federal.

A estrutura de planejamento portuário existente, estabelecida pela Portaria nº 61/2020 (incluindo o Plano Diretor, o PDZ e o PGO), serve principalmente como uma estrutura de planejamento estratégico e regulatório, e não como um mecanismo direto de alocação orçamentária. O Plano Diretor identifica a demanda projetada, os gargalos de infraestrutura e as prioridades de investimento de curto, médio e longo prazo para cada complexo portuário, servindo de base para os demais documentos de planejamento. O PDZ traduz essas projeções em diretrizes de zoneamento e operacionais aplicáveis a cada porto organizado, definindo como as áreas portuárias podem ser alocadas entre diferentes atividades. Os PDZs atuais analisados no âmbito deste estudo não designam especificamente áreas para atividades de energia eólica offshore. O PGO, por sua vez, consolida os projetos destinados a concessão, arrendamento ou autorização pelo Governo Federal.

O Decreto nº 12.022/2024 introduziu ainda a estrutura do Planejamento Integrado de Transportes (PIT), organizando o planejamento logístico nacional em ciclos de quatro anos e incluindo um Plano Setorial Portuário elaborado pela Secretaria Nacional de Portos.

Esses documentos de planejamento, por si só, não destinam nem garantem financiamento público para melhorias portuárias específicas. Na prática, porém, eles influenciam as prioridades de investimento, as aprovações regulatórias e a alocação de recursos públicos ou apoio financeiro. Nos portos organizados, a infraestrutura de uso comum, como canais de navegação, quebra-mares e acesso rodoviário ou ferroviário, é geralmente mantida ou ampliada pela autoridade portuária com apoio público ou por meio de estruturas de financiamento público.

O modelo de designação de portos competitivos discutido na Seção 5.6.3 poderia, potencialmente, apoiar futuros acordos de cofinanciamento público, inclusive por meio do BNDES ou de mecanismos de financiamento relacionados ao clima, embora nenhum programa específico de financiamento público para infraestrutura portuária de energia eólica offshore tenha sido identificado nesta fase.

Na prática, esses instrumentos definem o contexto de planejamento no qual os investimentos portuários são estruturados. Os projetos dentro dos Portos Organizados devem ser compatíveis com as diretrizes de zoneamento estabelecidas no PDZ e consistentes com as projeções do Plano Diretor. Quando um uso proposto não estiver refletido nos instrumentos de planejamento existentes, podem ser necessárias alterações antes que uma licitação de arrendamento ou outro acordo contratual possa prosseguir — uma dependência que limita a velocidade com que as áreas portuárias podem ser reatribuídas em resposta a novos sinais de demanda, como a energia eólica offshore.

Os limites dos Portos Organizados (o polígono) são atualizados ou modificados por *portaria* do MPOR, e é relativamente raro que sejam alterados. Um investidor não pode iniciar ou controlar esse processo; a localização de um projeto em relação ao limite portuário existente, portanto, geralmente determina o caminho regulatório disponível. *Dentro* de um porto organizado, o investidor deve cumprir o PDZ, participar de licitações públicas, aceitar parâmetros pré-definidos (perfil de carga, obrigações de investimento, regulamentação tarifária) e aceitar a reversão dos ativos após o término do contrato. *Fora* de um porto organizado, um investidor pode buscar qualquer local costeiro adequado, mas deve desenvolver toda a instalação e a infraestrutura de acesso de forma independente. Modelos contratuais com Portos Organizados

Os principais instrumentos contratuais para a ocupação de áreas dentro de *Portos Organizados* são:

- **Arrendamento:** O principal instrumento, concedido por meio de licitação pública competitiva. Os contratos de arrendamento podem ter duração de até 35 anos, prorrogáveis para 70 anos (incluindo renovações). O processo — desde a elaboração do EVTEA (Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental) até o leilão e a assinatura do contrato — leva aproximadamente 28 meses, no mínimo, e frequentemente cinco anos ou mais quando contestado judicialmente. Os ativos desenvolvidos sob um arrendamento geralmente reverterem para o Governo Federal ao término do contrato, o que tem sido identificado como um desincentivo significativo ao investimento.
- **Contrato de Uso Temporário:** Permite que a autoridade portuária conceda acesso temporário a áreas portuárias para cargas classificadas como “mercado não consolidado” (não manuseadas regularmente nos últimos cinco anos). A duração é limitada a 48 meses e não é renovável. Para a energia eólica offshore, esse instrumento pode oferecer um ponto de entrada prático durante os estágios iniciais do projeto, uma vez que os componentes de energia eólica offshore ainda não têm sido manuseados regularmente nos portos brasileiros. No entanto, sua natureza não renovável limita sua adequação como um arranjo permanente para as fases de construção e O&M.
- **Contratos de Uso do Espelho d’Água, Contratos de Transição e Contratos de Passagem:** Instrumentos adicionais para situações operacionais específicas dentro dos Portos Organizados, conforme estabelecido na Resolução ANTAQ nº 127/2025.
- **Regime de Uso Público Ocasional e Regime de Uso Público Contínuo:** A Resolução da ANTAQ nº 127/2025 também estabelece duas modalidades para o uso de áreas portuárias que não exigem um instrumento contratual específico, como um contrato de arrendamento ou de uso temporário. No âmbito do Regime de Uso Público, as áreas e instalações portuárias que não estejam atualmente ocupadas por outros contratos podem ser utilizadas de forma não exclusiva, sendo a remuneração feita por meio de tarifas portuárias aprovadas pela ANTAQ. Para acordos mais estruturados, mas ainda assim não exclusivos, o Regime de Uso Público Contínuo permite contratos de até 180 dias, renováveis a critério da autoridade portuária. Esses instrumentos podem ser particularmente relevantes para a logística de energia eólica offshore em fase inicial, pois permitem que os portos acomodem atividades de manuseio e armazenamento de componentes em áreas de uso comum antes que a demanda justifique um contrato de locação dedicado, sem exigir um processo de licitação pública ou conceder exclusividade sobre as áreas portuárias.
- **Cessão de Uso (Contrato de Uso):** Aplicável quando as instalações portuárias são predominantemente não operacionais (por exemplo, atividades de fabricação, pré-montagem e engenharia que não envolvam diretamente o manuseio de cargas). As instalações de energia eólica offshore frequentemente combinam funções de fabricação, armazenamento e carregamento, o que pode complicar a classificação regulatória.

A ANTAQ (Decisão nº 434/2023) esclareceu que as instalações portuárias destinadas a apoiar a energia eólica offshore podem ser classificadas como operacionais ou não operacionais, dependendo da natureza das atividades realizadas. Se o porto realizar atividades operacionais (armazenamento ou movimentação de carga ligadas ao transporte aquático), os instrumentos contratuais aplicáveis geralmente incluem um contrato de locação, um contrato de uso temporário ou um contrato de transição; se forem não operacionais, a ocupação da área pode ser formalizada por meio de um acordo de uso com a autoridade portuária. Essa determinação é feita caso a caso.

5.3.3.1 Implicações das estruturas de governança nos prazos de investimento

Os investimentos portuários nos Portos Organizados normalmente envolvem várias autoridades públicas em diferentes etapas. O Governo Federal, a ANTAQ e a autoridade portuária exercem, cada um, competências distintas que abrangem o alinhamento do planejamento, a elaboração de licitações, a adjudicação de contratos e possíveis alterações contratuais. O Tribunal de Contas da União (TCU), em sua auditoria operacional do setor portuário (Decisão nº 2.711/2020), constatou

que o processo de arrendamento nos Portos Organizados pode levar pelo menos cerca de 28 meses em condições normais e, frequentemente, cinco anos ou mais quando contestado judicialmente. Em comparação, os procedimentos de autorização do TUP levam, em média, cerca de 16 meses (variando de 6 a 26 meses).

Os dados da auditoria do TCU confirmam a preferência do mercado pelo modelo de TUP: 86% dos arrendatários atuais nos Portos Organizados afirmaram que prefeririam investir em um TUP para qualquer expansão futura, e 96% dos operadores de TUP expressaram a mesma preferência. A TCU concluiu que esses resultados revelam claramente a atual falta de atratividade do modelo de porto público organizado. Para infraestruturas que exigem grande investimento de capital e são sensíveis ao fator tempo — incluindo instalações portuárias destinadas a apoiar projetos de energia eólica offshore —, a sequência de requisitos de planejamento, aprovações regulatórias e procedimentos contratuais pode impactar a viabilidade do projeto e as decisões de financiamento.

Embora os Portos Organizados apresentem complexidade processual e prazos mais longos, eles também oferecem vantagens estruturais relevantes para certos investidores e estruturas de financiamento: mecanismos tarifários regulados, direitos de reequilíbrio contratual em caso de mudanças nas condições econômicas e infraestrutura de uso comum compartilhada (canais de navegação, quebra-mares, conexões rodoviárias e ferroviárias) mantida pela autoridade portuária com recursos públicos. Os operadores de TUP arcam com a totalidade do risco de mercado e devem desenvolver e manter toda a infraestrutura de instalações portuárias e de acesso de forma independente.

5.3.4 Estruturas de propriedade dos portos brasileiros pré-selecionados para energia eólica offshore

Esta seção examina as estruturas de propriedade de seis portos brasileiros identificados como possíveis centros para o desenvolvimento da energia eólica offshore. Seus arranjos de governança, marcos legais e características operacionais são avaliados em termos de como posicionam cada porto para apoiar o setor emergente de energia eólica offshore.

Porto de Pecém (Ceará)

O Porto de Pecém é um complexo portuário industrial no Ceará, no nordeste do Brasil, que opera sob o regime de TUP, de acordo com o Contrato de Adesão nº 113/2016. É administrado pelo Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP S.A.), uma empresa de capital misto cujo acionista majoritário é o Governo do Ceará e cujo acionista minoritário é o Porto de Roterdã — o que proporciona acesso a expertise internacional em gestão portuária. O porto movimenta produtos siderúrgicos, contêineres, granéis e combustíveis líquidos, além de abrigar importantes instalações industriais dentro de seu complexo (incluindo a usina siderúrgica da Companhia Siderúrgica do Pecém). O regime de TUP e o envolvimento do Porto de Roterdã posicionam Pecém favoravelmente para o desenvolvimento relacionado à energia eólica offshore.

Porto de Suape (Pernambuco)

O Porto de Suape é um grande complexo portuário industrial em Pernambuco, no nordeste do Brasil, administrado pela Suape — Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros, uma empresa estatal vinculada ao Governo de Pernambuco. O complexo ocupa aproximadamente 13.500 hectares e abriga mais de 100 empresas operadoras. O Porto de Suape movimenta contêineres, granéis líquidos, granéis sólidos e carga geral. As áreas dos terminais são operadas por meio de contratos de arrendamento de longo prazo (com prazos de validade que variam de 2026 a 2051), com uma base de operadores altamente diversificada, incluindo grandes empresas dos setores de distribuição de combustíveis, agronegócio, logística e operações portuárias (por exemplo, Liqueigás, Ultracargo, Bunge, Seara, Decal Brasil, Temape). Por se tratar de um porto público organizado, o desenvolvimento da energia eólica offshore estaria sujeito a todo o regime regulatório do porto organizado.

Porto de Açu (Rio de Janeiro)

O Porto de Açu é um complexo portuário de águas profundas localizado em São João da Barra, no Rio de Janeiro, de propriedade e operado pela Prumo Logística (uma empresa do portfólio da EIG

Global Energy Partners e da Mubadala Investment Company). Abrangendo aproximadamente 130 km² de área industrial, é um dos maiores complexos portuário-industriais da América Latina e opera sob o regime de TUP como um conjunto de terminais autorizados.

Sua característica marcante é o modelo de “condomínio portuário”: a Prumo administra a infraestrutura compartilhada (canais de acesso, serviços públicos, segurança, serviços comuns), enquanto empresas privadas individuais arrendam lotes e constroem, financiam e operam seus próprios terminais dedicados. O porto compreende dois agrupamentos principais: T1 (terminal offshore, com cerca de 25 m de profundidade, transbordo de minério de ferro e petróleo) e T2 (terminal onshore, com cerca de 14,5 m de profundidade, demais terminais). Atualmente, o porto movimenta cargas de petróleo e gás, minério de ferro e commodities a granel, e funciona como uma importante base logística para a indústria de petróleo e gás das bacias de Campos e de Santos. A estrutura de governança do TUP oferece flexibilidade significativa para a incorporação de novas atividades, incluindo energia eólica offshore.

Porto Central (Espírito Santo)

O Porto Central é um porto de águas profundas totalmente novo em fase de desenvolvimento em Presidente Kennedy, no Espírito Santo, como uma joint venture entre a TPK Logística (participação majoritária de 70%) e o Porto de Roterdã (participação de 30%). Ele foi projetado como um complexo portuário industrial integrado com calado natural profundo, planejado para acomodar serviços de apoio a petróleo e gás, cargas a granel, contêineres e energia eólica offshore — incluindo o potencial desenvolvimento de um dos maiores terminais de contêineres da América Latina. Operando sob o regime de autorização (TUP), o projeto recebeu aprovação para financiamento pelo FMM (Fundo da Marinha Mercante) em março de 2026. A Fase 1 concentra-se na exportação de petróleo bruto por meio de transferências navio a navio, com compromissos comerciais já garantidos pela Petrobras, Equinor, CNOOC e Repsol Sinopec. A estrutura do TUP e o envolvimento do Porto de Roterdã oferecem um contexto regulatório e de governança favorável para a integração da energia eólica offshore.

Porto de Imbituba (Santa Catarina)

O Porto de Imbituba é um porto público organizado em Santa Catarina, administrado pela SCPar Porto de Imbituba S.A., uma empresa estatal vinculada ao Governo de Santa Catarina. Ele opera com contêineres, graneis, produtos congelados e cargas de projeto. As operações nos terminais são realizadas por meio de contratos de arrendamento concedidos por meio de licitação pública, com prazos de longo prazo (até 25 anos, renováveis). Entre as principais operadoras estão a Santos Brasil Participações S.A. (contratos até 2032–2033), a Fertilizantes Santa Catarina Ltda. (contratos até 2032–2037) e a CRB Operações Portuárias S.A. Por se tratar de um porto público organizado, a expansão ou adaptação para atividades de energia eólica offshore exigiria a revisão do PDZ e o cumprimento de todos os procedimentos de licitação para concessão.

Porto de Rio Grande (Rio Grande do Sul)

O Porto de Rio Grande é um porto público organizado que opera sob o modelo de locador no Rio Grande do Sul, administrado pela Portos RS — uma empresa pública estadual vinculada ao Governo do Rio Grande do Sul. Com capacidade superior a 50 milhões de toneladas por ano, o complexo portuário compreende Porto Velho (histórico, fora de operação), Porto Novo (cais comercial com 1.950 m de comprimento linear e calado de 9,45 m), o Superport (terminais arrendados com calados de até 15 m) e a zona de São José do Norte. O porto movimenta contêineres, commodities agrícolas, fertilizantes, combustíveis, celulose, carga geral e carga de projeto, e possui um histórico significativo na construção naval e na fabricação offshore. Entre as operadoras de terminais estão a Petrobras, a Transpetro, a Tecon Rio Grande S.A. e outras, com prazos de vencimento dos contratos de arrendamento que variam de 2026 a 2047. A adaptação para a energia eólica offshore exigiria processos portuários padronizados e organizados (revisão do PDZ, licitação pública de arrendamento), embora a infraestrutura existente para calados profundos e o histórico industrial do porto sejam ativos relevantes.

Resumo

A tabela abaixo apresenta uma visão geral dos portos mencionados acima, incluindo suas estruturas de governança e propriedade, o status dos prazos dos contratos de arrendamento existentes e o tipo de regime contratual/regulatório aplicável ao desenvolvimento de energia eólica offshore em cada instalação.

Tabela 5-2 Visão geral das estruturas de governança e propriedade dos portos, contratos de arrendamento e regime contratual/regulatório aplicável à energia eólica offshore (OW)

Porto	Estado	Governança/Propriedade	Regime regulatório	Flexibilidade contratual para OW	Prazo do contrato de arrendamento
Pecém	Ceará	Empresa de capital misto; acionista majoritário: Governo do Ceará; acionista minoritário: Porto de Roterdã	TUP	Flexível — permite decisões de investimento privado e locações de espaços sem a exigência de licitação pública nos termos do MPOR	N/A
Suape	Pernambuco	Empresa estatal vinculada ao Governo de Pernambuco	Porto Público Organizado	É necessária licitação pública — a adaptação para energia eólica offshore está sujeita a um regime regulatório completo, incluindo revisão do PDZ e licitação pública de concessão nos termos do MPOR	Dezembro de 2039
Açu	Rio de Janeiro	De propriedade privada da Prumo Logística	TUP	Flexível — permite decisões de investimento privado e locação de espaços sem licitação pública, de acordo com os requisitos d , conforme a MPOR	N/A
Porto Central	Espírito Santo	Joint venture privada; acionista majoritário: TPK Logística; acionista minoritário: Porto de Roterdã	TUP	Flexível — permite decisões de investimento privado e locação de espaços sem a exigência de licitação pública nos termos do MPOR	N/A

Porto	Estado	Governança/Propriedade	Regime regulatório	Flexibilidade contratual para OW	Prazo do contrato de arrendamento
Imbituba	Santa Catarina	Empresa estatal vinculada ao Governo de Santa Catarina	Porto Público Organizado	É necessária licitação pública — a adaptação para energia eólica offshore está sujeita a um regime regulatório completo, incluindo revisão do PDZ e licitação pública de arrendamento nos termos do MPOR	Março de 2037
Rio Grande	Rio Grande do Sul	Empresa estatal vinculada ao Governo do Rio Grande do Sul	Porto Público Organizado – regime de arrendador	É necessária licitação pública – a adaptação para energia eólica offshore está sujeita a um regime regulatório completo, incluindo revisão do PDZ e licitação pública de arrendamento nos termos do MPOR	Fevereiro de 2047

5.4 Lacunas regulatórias e possíveis caminhos

Apesar dos recentes avanços regulatórios, o marco jurídico e institucional brasileiro apresenta uma série de áreas nas quais a coordenação prática, o alinhamento regulatório e a experiência institucional precisam ser mais desenvolvidos para sustentar o ritmo e a previsibilidade dos investimentos portuários em projetos de energia eólica offshore em grande escala. Várias dessas lacunas, no entanto, podem ser parcialmente mitigadas dentro do marco jurídico existente. Esta seção apresenta, em primeiro lugar, as principais lacunas e barreiras identificadas e, em seguida, descreve um caminho regulatório em fases por meio do qual os Portos Públicos Organizados podem atuar dentro dessas restrições, utilizando instrumentos já disponíveis na legislação portuária vigente.

5.4.1 Lacunas regulatórias

As áreas que requerem atenção podem ser agrupadas em cinco categorias inter-relacionadas, que são detalhadas a seguir.

1. Falta de coordenação entre o planejamento da energia eólica offshore e a regulamentação portuária
2. Fragmentação de competências jurídicas e sequenciamento regulatório
3. Restrições associadas à governança portuária de direito público
4. Desalinhamento entre títulos legais e cronogramas dos projetos
5. Incerteza quanto ao licenciamento ambiental e à política industrial

5.4.1.1 Falta de coordenação entre o planejamento da energia eólica offshore e a regulamentação portuária

A Lei de Energia Eólica Offshore não exige que a alocação de áreas marítimas seja coordenada com as autoridades portuárias ou refletida nos instrumentos de planejamento portuário. Os Planos de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZs) são geralmente elaborados por cada autoridade portuária e submetidos à aprovação da autoridade portuária nacional competente no âmbito do Ministério de Portos e Aeroportos/Governo Federal. Esses instrumentos baseiam-se tipicamente nos fluxos de carga existentes e na demanda portuária histórica, em vez das necessidades logísticas prospectivas da energia eólica offshore, e ainda são, em grande parte, desenvolvidos independentemente da política de energia offshore. A ANTAQ pode contribuir dentro de seu mandato regulatório e de supervisão previsto em lei, especialmente quando o alinhamento dos PDZs for relevante para arrendamentos portuários, autorizações, acordos de uso temporário, supervisão regulatória e conformidade.

A energia eólica offshore ainda não foi incorporada à maioria dos PDZs atuais, que não designam áreas para montagem de turbinas, logística de cargas pesadas ou operações de preparação para projetos eólicos offshore. Isso reflete o estágio inicial de desenvolvimento do setor, e não uma limitação inerente aos próprios instrumentos de planejamento, que possuem ciclos de revisão estabelecidos e são projetados para evoluir de acordo com as mudanças nas condições de mercado. No entanto, a atual ausência da energia eólica offshore no planejamento portuário cria um risco prático de que os projetos avancem sem a adaptação paralela do zoneamento portuário e de que os portos invistam em instalações sem certeza suficiente quanto à demanda futura, aumentando a incerteza em relação aos cronogramas dos projetos e à disponibilidade de centros logísticos.

5.4.1.2 Fragmentação de Competências Jurídicas e Sequenciamento Regulatório

Um segundo desafio prático de coordenação decorre da distribuição das competências regulatórias entre múltiplas autoridades federais, cada uma com mandatos definidos. Os desenvolvedores de energia eólica offshore devem interagir com o MME (alocação de áreas), a ANEEL (conexão à rede e autorizações de geração), o IBAMA (licenciamento ambiental), a Marinha do Brasil (segurança da navegação), a ANTAQ (regulamentação portuária) e o MPOR (planejamento portuário).

Essas autoridades operam sob regimes jurídicos distintos e, embora suas atribuições individuais estejam bem estabelecidas, não há atualmente nenhum mecanismo legalmente previsto para coordenar seus respectivos procedimentos no contexto de projetos de energia eólica offshore. A experiência prática limitada com energia eólica offshore no Brasil, combinada com a necessidade de aprovações sequenciais por parte de várias instituições, pode levar a prazos prolongados, maior exposição a contestação judicial e custos de transação elevados, o que prejudica a previsibilidade necessária para investimentos em infraestrutura de grande escala.

Os operadores portuários podem hesitar em iniciar a expansão de terminais sem a garantia de que os projetos de energia eólica offshore chegarão ao fechamento financeiro; os desenvolvedores dependem de portos adequadamente equipados para dar suporte à instalação e às operações.

5.4.1.3 Restrições associadas à governança portuária de direito público

Os portos públicos organizados estão sujeitos a licitações públicas obrigatórias, regulamentação tarifária e fiscalização reforçada por parte das autoridades reguladoras e de auditoria — restrições destinadas a proteger o interesse público, mas que podem limitar a flexibilidade na resposta às necessidades dos projetos de energia eólica offshore.

A energia eólica offshore frequentemente requer acordos contratuais personalizados, exclusividade de longo prazo sobre determinadas áreas e rápida adaptação da infraestrutura, o que deve ser conciliado com os princípios de não discriminação e gestão de bens públicos. O estabelecimento de um terminal dedicado à energia eólica offshore dentro de um porto organizado normalmente requer um processo de licitação pública (envolvendo a elaboração do EVTEA, a

análise da TCU, a análise regulatória da ANTAQ e a autorização do MPOR) que pode levar vários anos — o que está mal alinhado com os cronogramas de investimento em energia eólica offshore.

Nos casos em que os arrendamentos portuários ou PDZs existentes não foram concebidos levando em conta a energia eólica offshore, adaptá-los pode se revelar complexo e economicamente ineficiente. Concessões que se aproximam do fim de seu prazo representam uma janela crítica para realinhar os ativos portuários com a demanda por energia eólica offshore, incorporando potencialmente estruturas tarifárias direcionadas e mecanismos de incentivo.

5.4.1.4 Desalinhamento entre títulos legais e cronogramas dos projetos

Espera-se que os direitos sobre as áreas eólicas offshore, nos termos da Lei de Energia Eólica Offshore, se estendam por períodos de várias décadas (25 a 30 anos, compatíveis com a vida útil típica dos parques eólicos offshore). , por outro lado, os contratos de arrendamento portuário estão sujeitos a prazos máximos (no caso dos Portos Públicos Organizados, 25 anos, com possibilidade de renovação única por mais 25 anos, quando justificado) e a condições de renovação regidas pela regulamentação portuária, podendo envolver renegociação ou novos processos de licitação. As licenças ambientais são emitidas em etapas e estão sujeitas a revisões periódicas. A falta de coordenação jurídica explícita entre esses instrumentos gera incerteza quanto à continuidade do acesso portuário ao longo de todo o ciclo de vida do projeto eólico offshore, afetando a bancabilidade e aumentando os custos de financiamento, particularmente para projetos que dependem de infraestrutura portuária compartilhada ou que são desenvolvidos em fases ao longo de períodos prolongados.

O licenciamento ambiental da energia eólica offshore em si ainda não é comum no Brasil, o que significa que os processos podem ser demorados e sujeitos a incertezas, especialmente quando há impactos cumulativos ou interações com outras atividades marítimas — portos, navegação, pesca, petróleo e gás. As melhorias na infraestrutura portuária necessárias para apoiar a energia eólica offshore, como dragagem, reforço de cais e expansão de áreas industriais no interior do porto, geralmente podem ser tratadas no âmbito dos processos de licenciamento ambiental existentes do porto, embora a emissão de uma nova licença ambiental possa ser necessária quando a escala ou a natureza das obras exceder o escopo da licença atual, adicionando mais tempo e incerteza regulatória ao cronograma do investimento.

5.4.2 Caminhos regulatórios dentro da estrutura existente

Várias das barreiras identificadas acima podem ser mitigadas dentro do marco jurídico existente, sem a necessidade de nova legislação primária. Em particular, as restrições associadas à governança portuária de direito público (Seção 5.4.1.3) e o desalinhamento entre títulos legais e cronogramas de projetos (Seção 5.4.1.4) podem ser parcialmente gerenciados por meio de uma **sequência regulatória em fases** que se baseia em instrumentos já disponíveis nos termos da Lei nº 12.815/2013, evoluindo da demanda por operações de uso comum para um arrendamento de longo prazo. Esse caminho é específico para Portos Públicos Organizados (como Suape, Rio Grande e Imbituba, selecionados neste estudo).

Em uma fase inicial de uso comum, a Autoridade Portuária pode investir em infraestrutura fixa compartilhada, como reforço de berços e cais, dragagem, pavimentação e reforço de pátios, drenagem e iluminação, no âmbito de seu mandato estatutário de construir, melhorar, ampliar e manter instalações portuárias (Lei nº 12.815/2013, Art. 17, § 1, V). O manuseio e o armazenamento de componentes eólicos offshore podem, então, ocorrer em áreas de uso comum, de acordo com regras operacionais transparentes, incluindo janelas operacionais definidas, segregação física ou temporal de outras cargas, procedimentos de segurança e o uso de operadores portuários pré-qualificados que utilizem equipamentos móveis (Art. 25 e 27). O uso de equipamentos móveis, por si só, não confere qualquer direito exclusivo de ocupar a área portuária pública; o acesso igualitário, a transparência e a supervisão regulatória da ANTAQ são preservados em todo o processo.

À medida que a demanda amadurece e o uso dedicado de áreas ou instalações se torna necessário, o próximo passo é o Contrato de Uso Temporário (Art. 5-D). Como a logística da

energia eólica offshore continua sendo um mercado de carga não consolidado, esse instrumento permite a alocação temporária de áreas dentro do perímetro portuário organizado sem processo de licitação, por um prazo não prorrogável de até 48 meses, com investimentos arcados exclusivamente pela parte interessada e sem direito a indenização (§ 1 e § 3). Ele funciona como uma ponte institucional rumo a um acordo permanente: após 24 meses de vigência, ou antes disso a pedido do contratante, e uma vez que o uso tenha se mostrado viável, a Autoridade Portuária inicia as etapas para uma licitação competitiva de arrendamento para um acordo de médio a longo prazo (§4), alinhado ao Plano de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZ) e a outros instrumentos de planejamento aplicáveis. Quaisquer efeitos tarifários ou acordos de financiamento decorrentes de investimentos em infraestrutura de uso comum seriam tratados de forma transparente e coerente com as competências regulatórias da ANTAQ, incluindo as regras sobre recuperação antecipada de receitas para investimentos em infraestrutura de uso comum (Decreto nº 8.033/2013, arts. 42-B e 42-C).

Essa sequência em fases — a saber, operações de uso comum, seguidas por um Contrato de Uso Temporário e, posteriormente, por um arrendamento de longo prazo — poderia proporcionar aos Portos Públicos Organizados uma maneira de ativar a atividade eólica offshore de forma incremental e com compromisso inicial mínimo, adiando decisões contratuais e de capital de maior porte até que surja certeza no mercado.

No entanto, a concretização disso na prática depende de duas condições que estão fora dos próprios instrumentos: o alinhamento da PDZ relevante com os usos da energia eólica offshore, o que os planos atuais, em geral, ainda não prevêem (Seção 5.4.1.1), e a clareza regulatória da ANTAQ sobre o tratamento tarifário dos investimentos em infraestrutura de uso comum.

Outro avanço é a estrutura de “sandbox” regulatória recentemente estabelecida pela ANTAQ (Resolução ANTAQ nº 131/2025). A sandbox cria um ambiente controlado no qual participantes privados podem receber autorização temporária para desenvolver e testar modelos de negócios, tecnologias e arranjos operacionais inovadores, sujeitos a condições e flexibilidades regulatórias definidas pela ANTAQ caso a caso. Embora sua aplicação à infraestrutura portuária de energia eólica offshore ainda precise ser testada na prática, a estrutura pode oferecer um caminho adicional para avaliar novas abordagens dentro do regime regulatório portuário existente antes que soluções regulatórias ou contratuais permanentes sejam adotadas.

A relevância prática da estrutura do “sandbox” foi demonstrada em 2026 por meio do primeiro projeto de “sandbox” da ANTAQ, o “Outorga Verde”. No âmbito dessa iniciativa, a ANTAQ selecionou uma empresa privada para ocupar e desenvolver uma área dentro do Porto de Suape para um projeto inovador de transição energética envolvendo geração de energia a partir de resíduos, sob uma autorização experimental de 48 meses. O projeto foi implementado no ambiente de sandbox e continua sujeito à supervisão da ANTAQ, aos requisitos de monitoramento e às condições específicas do projeto.

Embora a iniciativa Outorga Verde não esteja relacionada à energia eólica offshore, ela demonstra a disposição da ANTAQ em utilizar o ambiente de sandbox como um mecanismo prático para testar formas inovadoras de ocupação portuária e desenvolvimento de infraestrutura associadas à descarbonização, às energias renováveis e às indústrias emergentes. Ela também ilustra como o marco regulatório existente pode acomodar projetos de transição energética dentro dos Portos Públicos Organizados por meio de arranjos regulatórios temporários e controlados, antes que soluções regulatórias permanentes sejam adotadas.

5.5 Experiências internacionais

5.5.1 Introdução

Os estudos de caso nesta seção apresentam diferentes modelos para o desenvolvimento e a operação de portos utilizados tanto durante a fase de construção quanto durante a fase de operação e manutenção (O&M) de parques eólicos offshore. Os casos ilustram como os portos

podem desempenhar diferentes papéis na cadeia de valor da energia eólica offshore, incluindo fabricação, logística de componentes, pré-montagem, instalação e operações de longo prazo.

Os estudos de caso baseiam-se principalmente em pesquisa documental de projetos individuais e desenvolvimentos portuários. Em alguns casos, as informações se baseiam em análises anteriores realizadas pela COWI, incluindo diálogos com autoridades portuárias e desenvolvedores de projetos.

5.5.2 Estudos de caso de portos de construção

5.5.2.1 Porto de Cuxhaven, Alemanha



Figura 5-3 Porto de Cuxhaven. Fonte: MANN Lines.

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Cuxhaven faz parte da empresa portuária Niedersachsen Ports (NPorts), localizada no noroeste da Alemanha. A NPorts é de propriedade do Estado da Baixa Saxônia e opera um total de seis portos. O porto de Cuxhaven é um porto de carga, e a energia eólica offshore é uma de suas diversas áreas de atuação. O porto está dividido em vários terminais e movimenta 2,5 milhões de toneladas de mercadorias. As mercadorias variam de veículos (carros para exportação) a produtos sólidos (areia, materiais de construção etc.) e reboques de carga. Além disso, várias conexões de balsa são operadas a partir do porto.

Evolução do setor eólico

Até a década de 1980, o Porto de Cuxhaven era principalmente um porto de pesca e de balsas para o tráfego local. Nas últimas décadas, o porto registrou crescimento no tráfego RORO, em cargas a granel e, nos últimos anos, especialmente em cargas de projeto, principalmente turbinas eólicas para parques eólicos offshore.

Cuxhaven está idealmente localizada para parques eólicos offshore na parte sul do Mar do Norte. Em 2017, a Siemens Gamesa inaugurou uma fábrica de turbinas eólicas offshore a aproximadamente 300 metros atrás do cais, produzindo naceles para turbinas eólicas offshore de

14 MW. Desde 2020, a Titan Wind Energy opera uma fábrica de torres de turbinas eólicas em Cuxhaven. O porto movimenta aproximadamente 4.500 componentes de turbinas eólicas por ano, o que o torna um dos portos eólicos offshore mais ativos da Europa.

O parque eólico offshore Hollandse Kust Zuid, na Holanda (140 turbinas, de 11 MW cada, desenvolvido em 2022), e o parque eólico Moray West, próximo à Escócia (60 turbinas, de 14 MW cada, embarcadas em 2024), são exemplos de projetos atendidos a partir de Cuxhaven.

Planos de desenvolvimento

O porto continua a expandir sua capacidade para energia eólica offshore. Planos recentes de expansão incluem o desenvolvimento de cais adicionais para cargas pesadas e áreas portuárias capazes de lidar com turbinas eólicas offshore e fundações de última geração. A expansão tem como objetivo apoiar o crescimento esperado na implantação de energia eólica offshore no Mar do Norte nas próximas décadas.

Fontes financeiras e investimentos

Os investimentos em infraestrutura portuária são normalmente financiados em conjunto pela Niedersachsen Ports e pelo Estado da Baixa Saxônia. Os investimentos privados são realizados por empresas industriais que estabelecem instalações de fabricação na área portuária.

O custo total de desenvolvimento para a expansão de capacidade anunciada em março de 2024 é de 300 milhões de euros, financiado por meio de um modelo tripartite inovador: o Governo Federal, o Estado da Baixa Saxônia e o porto/parceiros privados contribuem, cada um, com aproximadamente um terço. A contribuição do Governo Federal representa um novo modelo de financiamento para a infraestrutura portuária na Alemanha. A parcela privada dos investimentos abrange instalações de armazenamento e fabricação utilizadas pela indústria de fabricação de turbinas eólicas.

Principais lições do Porto de Cuxhaven

O Porto de Cuxhaven ilustra como um porto de carga tradicional pode se transformar gradualmente em um centro de energia eólica offshore por meio da combinação de atividades logísticas e instalações de fabricação. Um fator-chave para o sucesso do porto tem sido a localização conjunta da fabricação de turbinas eólicas e da infraestrutura portuária, permitindo o transporte direto de grandes componentes da fábrica para as embarcações de instalação.

Toda a infraestrutura portuária é de propriedade da empresa portuária; os investimentos são realizados pelo porto com cofinanciamento estadual e federal. O modelo de financiamento tripartite, que divide os custos entre o governo federal, o estado e o setor privado, é uma inovação recente notável.

5.5.2.2 Porto de Hull, Reino Unido

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Hull está localizado no estuário do Humber, no leste da Inglaterra, e é operado pela Associated British Ports (ABP), a maior operadora portuária do Reino Unido. A ABP possui e opera mais de 20 portos em todo o Reino Unido. A ABP é de propriedade de cinco fundos de investimento de previdência. O Porto de Hull movimenta aproximadamente 10 milhões de toneladas de mercadorias por ano, incluindo madeira, grãos sólidos, contêineres e rotas de balsas.

Desenvolvimento no setor eólico

Nas últimas décadas, Hull passou por um declínio nas atividades industriais tradicionais, como o manuseio de aço e carvão. Em resposta, a região implementou uma estratégia de regeneração econômica de longo prazo focada em novos setores industriais, incluindo a energia eólica offshore.

Desde então, o porto tornou-se um importante centro de fabricação e logística de energia eólica offshore, como parte do cluster eólico offshore de Humber. Desde 2016, a Siemens Gamesa opera

uma fábrica de pás de turbinas eólicas no porto. A produção foi ampliada várias vezes e, em 2024-2025, a fábrica empregava aproximadamente 1.300 pessoas.

Hull tem participado de vários projetos de energia eólica offshore de grande visibilidade, incluindo o projeto Hornsea Two, de 1,32 GW (165 turbinas de 8,4 MW, concluído em 2022, desenvolvedora Ørsted), e o parque eólico Moray West, próximo à Escócia. O projeto East Anglia TWO (ScottishPower, investimento de 4 bilhões de libras) também adquirirá pás da fábrica de Hull, ampliando significativamente a carteira de pedidos do porto até o final da década de 2020.

Planos de desenvolvimento

Como o Porto de Hull é de propriedade de uma empresa privada, o desenvolvimento das atividades de energia eólica offshore do porto está intimamente ligado à demanda do mercado comercial. A estratégia de sustentabilidade da Associated British Ports, “Ready for Tomorrow”, delineia planos para investir cerca de £2 bilhões até 2040 na descarbonização das operações portuárias e na expansão da infraestrutura de apoio à transição energética, incluindo as cadeias de suprimentos de energia eólica offshore.

A fábrica de pás da Siemens Gamesa em Alexandra Dock passou por uma grande expansão nos últimos anos. Um investimento de 186 milhões de libras, anunciado em 2021, mais que dobrou o tamanho da fábrica, possibilitando a produção de pás para turbinas eólicas offshore de última geração. Obras adicionais de expansão receberam aprovação de planejamento em 2025, aumentando ainda mais a capacidade de produção da unidade.

Fontes financeiras e investimentos

A Associated British Ports tem obtido sucesso na atração de grandes investimentos privados para Hull e para a região mais ampla de Humber. Os investimentos da Siemens Gamesa em instalações de produção foram apoiados, em parte, pelo Programa de Apoio ao Investimento na Fabricação de Energia Eólica Offshore do governo do Reino Unido (lançado pelo Departamento de Negócios, Energia e Estratégia Industrial em 2021). O porto também recebeu contribuições públicas menores para o desenvolvimento econômico, provenientes de fontes locais e regionais.

Principais lições do Porto de Hull

O Porto de Hull é um exemplo de porto de propriedade privada que se reposicionou no mercado de energia eólica offshore desde 2010, impulsionado por uma estratégia de transição industrial de longo prazo. O porto continua ativo nos setores de contêineres, grãos sólidos, grãos líquidos, RORO e balsas. Seu ponto forte é a localização de uma grande fábrica de pás da Siemens Gamesa diretamente atrás do cais, o que permite uma logística altamente eficiente para projetos de energia eólica offshore em todo o Mar do Norte e no norte da Europa.

Hull demonstra como um porto pode consolidar sua posição no setor eólico offshore em torno de um único grande fabricante (neste caso, a Siemens Gamesa), criando uma base de empregos de longo prazo por meio da produção de pás eólicas. Isso é particularmente instrutivo para os portos brasileiros que competem para atrair empresas como a Vestas, a Siemens Gamesa ou outros fabricantes de equipamentos originais (OEMs) para estabelecer instalações de fabricação, garantindo que esse inquilino âncora transforme um porto de logística geral em um polo eólico dedicado.

5.5.2.3 Porto de Rønne, Dinamarca



Figure 5-4 Porto de Rønne. Fonte: Baltic Transport Journal.

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Rønne é um pequeno porto na ilha dinamarquesa de Bornholm, no Mar Báltico. É uma sociedade anônima, cuja maioria das ações pertence ao município local e o restante é detido por duas organizações comerciais locais. O porto movimenta mais de 1 milhão de toneladas de mercadorias por ano, incluindo balsas, cargas sólidas, reboques de carga e navios de cruzeiro. A pesca, que já foi uma atividade importante, desapareceu quase completamente nas últimas décadas.

Desenvolvimento no setor eólico

O porto e a ilha não possuem indústria de fabricação de turbinas eólicas, e a ilha é considerada pequena demais para abrigar uma. O porto, portanto, funciona como um centro de pré-montagem e logística — todos os componentes são transportados para a ilha e montados lá — servindo principalmente como base durante a fase de construção.

Desde que entrou no mercado em 2021 com o parque eólico offshore Kriegers Flak de 605 MW (Dinamarca), o porto passou a atender o Arcadis Ost 1 (257 MW, Alemanha) e o Baltic Eagle (457 MW, Alemanha), com vários outros projetos no Mar Báltico em andamento. O porto agora também está considerando assumir uma função de operação e manutenção (O&M), à medida que vários parques eólicos no Mar Báltico se aproximam da fase operacional.

Planos de desenvolvimento

O porto passou por várias etapas de expansão na última década, concluindo aproximadamente 1.000 metros de novos cais para cargas pesadas, um canal de navegação aprofundado para 11 metros, um novo quebra-mar e aproximadamente 20 hectares de área de apoio. Uma expansão adicional é limitada pelas áreas urbanas circundantes e por restrições ambientais. Espera-se, portanto, que o porto atinja seu tamanho máximo viável em um curto período, enquanto a concorrência de outros portos eólicos offshore emergentes na região do Mar Báltico está aumentando.

Fontes financeiras e investimentos

O porto investiu mais de 130 milhões de euros em novas instalações desde 2019, financiados por meio de empréstimos garantidos pelo município local, sem o envolvimento de investidores privados. O modelo de negócios baseia-se no arrendamento de terrenos para empresas de energia e fabricantes de turbinas por projeto, enquanto o porto mantém a propriedade de toda a infraestrutura.

Principais lições do Porto de Rønne

O Porto de Rønne demonstra que um pequeno porto municipal, sem indústria eólica pré-existente, pode entrar com sucesso no mercado de energia eólica offshore como um centro de pré-montagem e logística em um curto espaço de tempo, desde que sejam feitos investimentos direcionados na capacidade dos cais e no interior. O modelo de empréstimo garantido pelo município permitiu uma expansão rápida e gradual, sem a necessidade de investidores externos.

Rønne é o modelo mais relevante para portos brasileiros de menor porte, que não têm escala suficiente para atrair indústrias de fabricação, mas podem se posicionar como centros de logística e pré-montagem para parques eólicos nas proximidades. A abordagem de investimento em etapas, expandindo a capacidade progressivamente à medida que a demanda dos projetos se concretiza, é particularmente adequada para mercados onde o pipeline de energia eólica offshore ainda está em fase inicial.

5.5.2.4 Porto de Esbjerg, Dinamarca



Figura 5-5 Porto de Esbjerg. Fonte: Portesbjerg.dk

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Esbjerg é um porto público autônomo de propriedade do Município de Esbjerg. O porto era originalmente administrado pelo Estado dinamarquês até 2000, quando a propriedade foi transferida para o município. Por ser um porto autônomo, ele reinveste todos os lucros no desenvolvimento portuário. A administração portuária colabora estreitamente com as mais de 200 empresas que operam no porto, e há um amplo consenso quanto à direção estratégica.

O porto movimenta uma ampla variedade de cargas, incluindo equipamentos de petróleo e gás (Esbjerg continua sendo a principal base para a indústria dinamarquesa de petróleo e gás do Mar do Norte), componentes para energia eólica offshore, peixes e ingredientes marinhos, cargas de projeto e frete em contêineres.

Desenvolvimento no setor eólico

O Porto de Esbjerg é amplamente reconhecido como o principal porto do mundo para a instalação de energia eólica offshore. O porto desempenhou um papel central no primeiro projeto de energia eólica offshore em grande escala, o Horns Rev I (2002), o que o consolidou como referência global. Hoje, mais de 80% de toda a capacidade instalada de parques eólicos offshore na Europa foi embarcada em Esbjerg, o que corresponde a mais de 27,5 GW. Em 2023, o porto triplicou sua capacidade de embarque de equipamentos eólicos offshore, passando de 1,5 GW para 4,5 GW por ano.

As empresas do Porto de Esbjerg representam toda a cadeia de suprimentos do setor eólico, desde P&D e fabricação até transporte, pré-montagem, instalação e operações e manutenção. Mais de 200 empresas atuam no setor eólico offshore no porto, empregando aproximadamente 10.000 trabalhadores. Esse ecossistema é único no mundo: Esbjerg é o único lugar no mundo onde toda a cadeia de valor da energia eólica offshore está concentrada em um único porto.

A trajetória do porto reflete uma longa evolução industrial: da exportação de gado (década de 1870) à pesca (que atingiu seu pico em 1985, com mais de 600 embarcações registradas), passando pelo petróleo e gás (desde o início da década de 1970) e, atualmente, pela energia eólica offshore como atividade dominante. Essa transição de várias décadas, de uma base industrial energética tradicional para a energia eólica offshore, é uma característica marcante do modelo de Esbjerg.

Planos de desenvolvimento

Um grande programa de expansão portuária (“A Próxima Era da Transição Verde”) está atualmente em andamento, compreendendo a dragagem do canal de navegação, um novo terminal de 57 hectares, ampliações e reforços do muro do cais e medidas de proteção costeira. O investimento total ultrapassa 200 milhões de euros e é financiado por meio de uma combinação de um empréstimo do BEI (Banco Europeu de Investimento), subsídios da Comissão Europeia e do governo dinamarquês, além das receitas reinvestidas pelo próprio porto.

Paralelamente, a PensionDanmark firmou um acordo de cooperação com o porto, segundo o qual investirá aproximadamente 7 bilhões de coroas dinamarquesas (940 milhões de euros) em instalações de produção de energia eólica offshore (com previsão de conclusão em 2027), terminais Power-to-X e CCS (2028) e infraestrutura de hub multimodal (2032). Isso torna Esbjerg um dos programas de desenvolvimento portuário para energia eólica offshore mais bem capitalizados do mundo.

O porto também está exportando ativamente seu conhecimento. Em 2025, o Porto de Esbjerg firmou uma parceria estratégica com a WindPort, na Noruega, para ajudar a desenvolver esse porto como um centro de distribuição para o primeiro grande parque eólico offshore da Noruega.

Fontes financeiras e investimentos

Os investimentos em infraestrutura são financiados pela autoridade portuária, frequentemente com o apoio de contratos de arrendamento de longo prazo com desenvolvedores de energia eólica offshore e empresas de logística.

Como porto autônomo, Esbjerg reinveste todos os lucros operacionais. A expansão atual é financiada por meio de uma estrutura diversificada: empréstimo de longo prazo do BEI, subsídios da Comissão Europeia, subsídios do governo dinamarquês e capital próprio do porto. O compromisso de 940 milhões de euros da PensionDanmark representa um exemplo marcante da entrada de capital de investidores institucionais no financiamento de infraestrutura portuária, ancorado na certeza da demanda de longo prazo por projetos eólicos offshore em desenvolvimento.

Principais lições do Porto de Esbjerg

O Porto de Esbjerg ilustra como portos com uma indústria de energia offshore já estabelecida podem fazer a transição da logística de petróleo e gás para atividades de instalação de energia eólica offshore. Suas principais características distintivas são: a concentração de toda a cadeia de

valor em um único local; o modelo de propriedade autônoma que permite o reinvestimento de longo prazo; a estrutura de financiamento misto público-privado; e seu papel ativo como exportador de conhecimento para mercados emergentes de energia eólica offshore.

A transição de Esbjerg da dependência do petróleo e gás para a energia eólica offshore é o paralelo mais instrutivo para o Brasil, onde portos como Açu (Rio de Janeiro) e Pecém (Ceará) compartilham um legado semelhante de atendimento à indústria de petróleo e gás. O modelo de Esbjerg demonstra que a expertise industrial offshore existente, as embarcações e a força de trabalho podem ser redirecionadas para a energia eólica, e que um porto com a visão estratégica correta e o modelo de financiamento público-privado adequado pode se tornar não apenas um nó logístico, mas o centro global de um setor.

5.5.2.5 Porto de Taichung, Taiwan



Figura 5-6 Porto de Taichung. Fonte: Taiwan-ftz.com

Propriedade e Estrutura Econômica

O Porto de Taichung é um porto comercial internacional administrado pela Taiwan International Ports Corporation (TIPC), uma empresa estatal subordinada ao Ministério dos Transportes e Comunicações. É um dos maiores portos comerciais de Taiwan e atua como centro nacional designado para o desenvolvimento da energia eólica offshore. Além da energia eólica offshore, o porto movimenta contêineres, cargas a granel, cargas líquidas e cargas industriais.

Porto de Taichung – Desenvolvimento no setor eólico

Na última década, Taiwan desenvolveu um dos maiores mercados de energia eólica offshore da Ásia. Como parte da estratégia do governo para construir uma cadeia de suprimentos nacional de energia eólica offshore, o Porto de Taichung foi designado como o principal centro para atividades de construção e fabricação no setor.

Desde 2015, a TIPC começou a avaliar e adaptar sistematicamente os cais de Taichung para o manuseio de componentes pesados de turbinas eólicas offshore. Desde 2019, vários cais existentes foram reforçados e reaproveitados para a pré-montagem de turbinas eólicas e a fabricação local. O porto tem, portanto, apoiado a construção de vários projetos eólicos offshore, incluindo o Ocean (128 MW), Taipower Fase I (109,2 MW), Formosa 2 (376 MW) e os parques

eólicos Greater Changhua 1 e 2a (900 MW no total, em pleno funcionamento desde abril de 2024, o maior projeto eólico offshore da região Ásia-Pacífico na época da inauguração).

A Ørsted estabeleceu seu centro de O&M (Operação e Manutenção) para a Ásia-Pacífico em Taichung em agosto de 2022, atualmente a maior instalação de O&M da região. A Siemens Gamesa opera uma fábrica de montagem de naceles no porto, uma das maiores instalações de montagem de naceles em toda a região da Ásia-Pacífico, ampliada em 2024 em conexão com o projeto Hai Long de 1 GW.

Planos de Desenvolvimento

Taiwan continua a expandir sua capacidade de energia eólica offshore, e espera-se que o Porto de Taichung continue sendo o principal centro logístico e de fabricação para futuros projetos de energia eólica offshore.

A TIPC destinou NT\$ 3,5 bilhões (aproximadamente US\$ 109 milhões) para a construção de dois novos cais para cargas pesadas (nºs 37 e 38), proporcionando um total de 580 metros de cais com capacidade de carga de 40 toneladas/m². Esses cais entraram em operação a partir de 2023. Paralelamente, um grande projeto de recuperação de terras e construção de quebra-mar teve início em maio de 2023 e deve ser concluído em 2027, com um custo de aproximadamente NT\$ 10,5 bilhões. A área recuperada será desenvolvida como uma zona industrial de energia eólica offshore, proporcionando novo espaço para fabricação, montagem e armazenamento. O porto também está adaptando sua infraestrutura para acomodar a futura transição para turbinas eólicas flutuantes, que exigem acesso a águas mais profundas e áreas de armazenamento maiores.

Fontes financeiras e investimentos

Todos os investimentos em infraestrutura portuária são realizados pela TIPC (a operadora portuária estatal), em alinhamento com a política nacional de energia eólica offshore de Taiwan. As instalações de fabricação em terrenos portuários são financiadas e operadas por empresas privadas, como Siemens Gamesa, CS Wind, Yongguan Group e outras, que arrendam os terrenos do porto. Essa divisão entre infraestrutura pública e fabricação privada reflete, em linhas gerais, o modelo observado em Cuxhaven e Hull, na Europa.

Principais lições do Porto de Taichung

O Porto de Taichung demonstra como uma operadora portuária estatal pode desenvolver sistematicamente a capacidade de energia eólica offshore por meio de investimentos públicos em etapas na modernização de cais e na recuperação de terras, ao mesmo tempo em que utiliza requisitos de conteúdo local orientados por políticas para atrair fabricantes internacionais a estabelecer instalações em terrenos portuários. O porto evoluiu rapidamente, passando do reforço básico dos cais (2019) para abrigar uma fábrica completa de naceles e o maior centro de operação e manutenção (O&M) da região (2024), em paralelo a um grande programa de recuperação de terras para garantir a capacidade futura. O “Programa de Relevância Industrial” do governo taiwanês (requisitos de conteúdo local), que exigia que os desenvolvedores adquirissem uma parcela dos componentes localmente, foi um fator determinante para atrair fabricantes para Taichung.

A experiência de Taiwan é, sem dúvida, o modelo não europeu mais diretamente relevante para o Brasil. Ambos os países são grandes mercados emergentes que estão entrando no setor de energia eólica offshore partindo do zero, com uma política industrial governamental ativa que busca maximizar o conteúdo local e desenvolver uma cadeia de suprimentos nacional. O uso, por parte de Taiwan, de requisitos de conteúdo local para atrair a Siemens Gamesa, a Vestas e outras empresas a estabelecerem fábricas em Taichung reflete as próprias ambições da política de conteúdo local do Brasil.

5.5.3 Estudos de caso de portos de O&M

5.5.3.1 Porto de Łeba, Polônia



Figura 5-7 Serviço de energia eólica offshore da Baltic Power em Łeba. Fonte: Baltic Power.

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Łeba é um pequeno porto na costa do Mar Báltico da Polônia, próximo a Gdynia e Gdansk, de propriedade do município local. Até recentemente, funcionava principalmente como porto de iates e de pesca.

Desenvolvimento no setor eólico

O papel do porto no setor eólico offshore teve início durante a fase de planejamento do projeto da Baltic Power (1,2 GW), quando os desenvolvedores avaliaram possíveis locais para operações e manutenção (O&M) ao longo da costa polonesa. Devido à sua proximidade com a área do parque eólico e à disponibilidade de terrenos dentro do porto, Łeba foi selecionada pelo Grupo ORLEN e pela Northland Power como base de operações e manutenção de longo prazo para o parque eólico offshore Baltic Power. Isso representa a primeira integração em grande escala de atividades eólicas offshore na estrutura econômica do porto.

Planos de desenvolvimento

O Grupo ORLEN e a Northland Power adquiriram um terreno no porto para desenvolver uma base de O&M para o parque eólico offshore Baltic Power de 1,2 GW (70 turbinas Vestas) no Mar Báltico. A base empregará aproximadamente 60 pessoas e prestará serviços ao parque eólico ao longo de um ciclo de vida de pelo menos 25 anos. Uma área de aproximadamente 1,1 hectares abriga um depósito de peças de reposição e uma oficina. O porto pode acomodar embarcações de até 35 metros de comprimento e será atendido por 3 a 4 CTVs dedicadas.

Fontes de financiamento e investimentos

Todas as instalações de O&M são financiadas pelo Grupo ORLEN e pela Northland Power. A autoridade portuária cede o terreno por meio de arrendamento e recebe taxas portuárias das embarcações de serviço.

Principais lições

Łeba demonstra o modelo de porto de O&M em sua forma mais simples: um pequeno porto municipal bem localizado, que atrai uma instalação de O&M financiada pelo desenvolvedor com demandas limitadas sobre a infraestrutura portuária. A pequena área ocupada (1,1 hectares) e o número modesto de empregos (60 postos permanentes) são típicos das operações de O&M em comparação com as atividades da fase de construção, mas a vigência de 25 anos do contrato gera valor econômico local estável e de longo prazo.

O modelo financiado pelo desenvolvedor e arrendado pelo porto significa que o risco financeiro para a autoridade portuária local é mínimo.

O caso também ilustra como pequenos portos voltados para o turismo podem diversificar sua base econômica por meio da energia eólica offshore, sem a necessidade de expansão de infraestrutura em grande escala.

5.5.3.2 Porto de Thorsminde, Dinamarca



Figura 5-8 Porto de Thorsminde. Fonte: Município de Holstebro.

Propriedade e estrutura econômica

O Porto de Thorsminde é um pequeno porto pesqueiro na costa do Mar do Norte da Dinamarca, de propriedade do município local.

Desenvolvimento no setor eólico

Em 2022, a RWE escolheu o Porto de Thorsminde como base de operação e manutenção (O&M) para o parque eólico offshore Thor, de 1,1 GW — o maior da Dinamarca até o momento —, composto por 72 turbinas Siemens Gamesa SG 14-236 DD (com potência nominal de até 15 MW

cada). A construção do prédio de serviços de O&M da RWE no porto está em andamento, com conclusão prevista para o início de 2026. A instalação das turbinas no mar teve início no início de 2026, com o comissionamento total do parque eólico previsto para o final de 2027. Espera-se que as operações de O&M a partir de Thorsminde criem de 50 a 60 empregos locais permanentes, incluindo técnicos, engenheiros e tripulação para 2 a 4 CTVs.

Planos de desenvolvimento

A RWE está construindo e financiando seu prédio de serviços de operação e manutenção (O&M) em um terreno arrendado do porto. A autoridade portuária financiou o aprofundamento necessário da bacia portuária e do canal de navegação com recursos próprios e recebe taxas portuárias normais das embarcações de serviço. Não há planos de expansão adicional do porto além das necessidades da fase de O&M.

Fontes financeiras e investimentos

A RWE financia todas as instalações de O&M. O porto financiou suas próprias obras de dragagem. Essa separação clara de responsabilidades — o desenvolvedor financia a superestrutura, o porto financia a infraestrutura — é um modelo replicável para mercados emergentes.

Principais lições

Thorsminde ilustra o mesmo modelo de O&M que Leba, mas em um estágio ligeiramente mais avançado: o desenvolvedor se comprometeu com um prédio de serviços dedicado (não apenas um arrendamento de terreno), a construção está em andamento e o cronograma para o início das operações é concreto. A escolha do porto foi motivada inteiramente pela proximidade com o local do parque eólico Thor, confirmando que a localização geográfica é o principal fator determinante para a seleção de um porto de O&M, à frente das capacidades portuárias existentes.

O caso de Thorsminde ilustra como até mesmo portos pesqueiros muito pequenos podem ser integrados às cadeias de abastecimento da energia eólica offshore quando localizados próximos a parques eólicos.

5.5.4 Relevância para os seis portos pré-selecionados

Os estudos de caso apresentados nesta seção ilustram, em conjunto, uma variedade de trajetórias de desenvolvimento, modelos de financiamento e funções portuárias. Em vez de comparações diretas, eles podem servir como fontes de inspiração para os portos brasileiros avaliados neste estudo, oferecendo lições transferíveis sobre estruturas de financiamento, estratégias de desenvolvimento incremental, abordagens de locatário âncora e as condições sob as quais os portos entraram com sucesso no mercado de energia eólica offshore. Tabela 5-3 mapeia cada caso internacional aos portos brasileiros que poderiam se inspirar mais efetivamente nele e identifica a dimensão específica de aprendizado mais relevante para cada um.

Tabela 5-3 Visão geral da relevância dos estudos de caso para os portos brasileiros pré-selecionados

Estudo de caso internacional	Principal lição	Relevância para os portos brasileiros pré-selecionados
Porto de Esbjerg (Dinamarca)	Transição da exploração de petróleo e gás offshore para um centro completo da cadeia de valor da energia eólica offshore; propriedade autônoma da , permitindo reinvestimento de longo prazo; financiamento misto público-privado.	Mais relevante para Açu e Rio Grande, que compartilham um histórico de industrial de petróleo e gás offshore e uma base logística diretamente transferível para a energia eólica offshore.

Estudo de caso internacional	Principal lição	Relevância para os portos brasileiros pré-selecionados
Porto de Cuxhaven (Alemanha)	Localização conjunta da fabricação de equipamentos originais (OEM) e da logística portuária; modelo de financiamento tripartite entre governo federal, estadual e privado.	Mais relevante para Pecém, que já abriga a fabricação de pás dentro de seu complexo portuário, e para Suape, que possui um polo de fabricação de componentes para energia eólica onshore já estabelecido.
Porto de Hull (Reino Unido)	Estratégia de locatário âncora: um único compromisso de longo prazo de fabricação por OEM, transformando um porto industrial geral em um polo dedicado à energia eólica offshore.	Mais relevante para Açu, Suape e Porto Central, que possuem flexibilidade de governança ou base industrial para atrair e manter um acordo com um locatário âncora.
Porto de Taichung (Taiwan)	Desenvolvimento de um polo greenfield orientado pelo Estado, com investimento público em fases e requisitos de conteúdo local que garantam a fabricação por OEMs.	Pode ser relevante para todos os portos que estão iniciando um desenvolvimento greenfield. Isso é particularmente adequado para Porto Central, onde uma zona dedicada à Base de Abastecimento Offshore foi identificada para desenvolvimento.
Porto de Rønne (Dinamarca)	Pequeno porto que está entrando no setor de energia eólica offshore como um centro de logística e pré-montagem, sem fabricação; investimento em etapas, apoiado pelo município, em resposta à demanda confirmada por projetos.	Relevante para todos os portos como estratégia de entrada, especialmente em relação à energia eólica nearshore. Aqui, a ativação gradual da infraestrutura existente ou subutilizada é o caminho mais realista no curto prazo.
Porto de Łeba / Thorsminde (Polônia / Dinamarca)	Base de O&M financiada pelo desenvolvedor em terreno portuário arrendado; proximidade geográfica como principal critério de seleção; necessidade mínima de capital por parte do porto.	Relevante para todos os seis portos pré-selecionados, exceto Suape, devido a restrições de distância.

5.6 Modelos de desenvolvimento portuário para portos eólicos offshore brasileiros

5.6.1 Introdução

As seções anteriores demonstraram que o setor portuário brasileiro oferece diversas opções regulatórias — Portos Públicos Organizados, que operam sob o modelo de locação, e Terminais de Uso Privado (TUPs), sob o regime de autorização — e que os seis portos selecionados diferem

substancialmente em termos de estrutura de propriedade, governança e preparação para a energia eólica offshore.

Esta seção traduz essas diferenças estruturais em *modelos de desenvolvimento portuário* viáveis⁷, com foco em:

- Os papéis que os portos podem desempenhar na cadeia de valor da energia eólica offshore
- Os mecanismos de concorrência e incentivos disponíveis na regulamentação brasileira para estimular os proprietários de portos a ingressarem no mercado de energia eólica offshore

A análise se baseia em referências internacionais, na regulamentação brasileira e nas características dos portos pré-selecionados.

5.6.2 Papéis dos portos na cadeia de valor da energia eólica offshore

Com base nos estudos de caso internacionais e nas características específicas do pipeline de energia eólica offshore do Brasil, é possível identificar três papéis distintos para os portos. Esses papéis não são mutuamente exclusivos — ou seja, um porto pode desempenhar vários papéis simultaneamente ou evoluir de um papel para outro à medida que o mercado se desenvolve —, mas implicam requisitos de infraestrutura, perfis de investimento e caminhos regulatórios substancialmente diferentes.

Porto de construção e agrupamento: O porto de construção recebe, armazena, pré-monta e despacha componentes de turbinas eólicas offshore durante a fase de instalação de um ou mais parques eólicos. Trata-se de uma função *impulsionada* principalmente *pela logística*, que normalmente requer grandes áreas contíguas de armazenamento, cais para cargas pesadas, acesso a águas profundas para embarcações de instalação e programação coordenada vinculada às janelas meteorológicas. O modelo de negócios baseia-se no arrendamento de áreas portuárias e serviços (armazenamento, serviços de guindaste, acesso a berços) para desenvolvedores de energia eólica offshore ou fabricantes de turbinas, seja por projeto ou em médio prazo.

O Porto de Rønne (Dinamarca) é um exemplo internacional: um pequeno porto municipal que ingressou no mercado de energia eólica offshore como um centro de pré-montagem, investiu gradualmente na capacidade dos cais e no interior do porto e, atualmente, já atendeu a vários projetos no Mar Báltico sem sediar nenhuma atividade de fabricação. A escala de Rønne é consideravelmente menor do que a necessária para os grandes projetos de energia eólica offshore no Brasil, mas a lógica de entrada — investimento em fases em resposta à atividade confirmada do projeto — é transferível, especialmente para projetos menores em águas rasas.

Nesse contexto, é possível fazer uma distinção adicional entre portos que atendem a grandes projetos de energia eólica offshore — exigindo acesso para embarcações de grande calado, cais para cargas pesadas e grandes áreas contíguas de armazenamento — e aqueles que atendem a projetos nearshore em águas mais rasas e próximas à costa, onde as exigências de infraestrutura são significativamente menores. Para portos em que a capacidade existente ou restrições de arrendamento limitam a disponibilidade no curto prazo dos cais e áreas de pátio necessários para a construção de projetos eólicos offshore de grande escala, uma estratégia de entrada em projetos nearshore pode representar um caminho inicial mais prático, permitindo que eles adquiram experiência operacional, estabeleçam relações com desenvolvedores e desenvolvam a capacidade da força de trabalho enquanto investimentos maiores em infraestrutura são planejados.

Todos os seis portos pré-selecionados poderiam, em princípio, desempenhar um papel de construção e organização, sujeito às melhorias e soluções conceituais identificadas no Capítulo 4,

⁷ Esses modelos se baseiam em padrões observados no desenvolvimento internacional de portos para energia eólica offshore, incluindo as análises da COWI para a DEA do desenvolvimento portuário no Vietnã (2024) e na Colômbia (2025). Embora esses estudos tenham utilizado estruturas tipológicas um pouco diferentes — o estudo do Vietnã distinguindo principalmente entre tipos de portos de construção e de fabricação, e o estudo da Colômbia entre processos de desenvolvimento liderados por incorporadoras e por clusters —, as dinâmicas subjacentes de incentivos e investimentos são amplamente consistentes com os modelos descritos a seguir.

embora sua prontidão, necessidades de investimento e viabilidade no curto prazo variem consideravelmente.

Centro de Fabricação e Instalação: O porto de fabricação vai além da logística para abrigar atividades de manufatura ou montagem de grande porte — montagem de naceles, produção de pás, fabricação de monopilares ou jaquetas, fabricação de torres — nas proximidades ou diretamente no interior do porto, permitindo a transferência direta do cais para a embarcação dos componentes montados. Esse é o modelo do Porto de Cuxhaven (fábrica de naceles da Siemens Gamesa, fábrica de torres da Titan Wind Energy), do Porto de Hull (fábrica de pás da Siemens Gamesa) e do Porto de Esbjerg (cadeia de valor completa, mais de 200 empresas). O modelo de fabricação gera valor econômico mais profundo e diversificado por meio de empregos na indústria, mas também requer áreas de terreno maiores, investimento de capital muito maior, compromissos de longo prazo de locatários âncora por parte de fabricantes de turbinas (OEMs) ou de componentes, e certeza de mercado suficiente para justificar o investimento.

Entre os portos pré-selecionados, o Porto de Pecém, o Porto de Suape, o Porto Central e o Porto de Rio Grande podem, com o tempo, emergir como candidatos a essa função. Pecém combina uma Zona de Processamento de Exportação (ZPE) em operação com um dos principais centros de fabricação de componentes eólicos da América Latina, incluindo uma fábrica de pás (Aeris Energy), o que lhe confere uma base industrial eólica terrestre consolidada que poderia ser estendida para a fabricação de componentes eólicos offshore. Suape abriga um cluster de empresas que fabricam pás e torres para o setor eólico terrestre, proporcionando uma base industrial já existente a partir da qual a fabricação de componentes eólicos offshore poderia se desenvolver. O projeto do Porto Central, construído especificamente para esse fim, e a zona dedicada de 50 ha para a Base de Abastecimento Offshore oferecem uma oportunidade para a instalação de unidades fabris, tornando-o estruturalmente adequado para um polo de fabricação integrado, caso a carteira de projetos justifique isso. O Porto do Rio Grande possui tradição em construção naval e fabricação offshore e, particularmente, o Estaleiro EBR, que, se for o caso, poderia ser destinado a atividades de fabricação. A concretização de um papel de centro de fabricação completo em qualquer um desses portos exigiria, no entanto, compromissos de locatários âncora e uma carteira de projetos confirmada de escala suficiente, tornando essa uma ambição de longo prazo, em vez de um caminho a ser seguido no curto prazo.

Porto de Operações e Manutenção (O&M): O porto de O&M é uma base de longo prazo para a manutenção de rotina de parques eólicos offshore em operação, acomodando embarcações de transporte de tripulação (CTVs), embarcações de operação de serviço (SOVs), armazenamento de peças de reposição e acomodação de técnicos. Esse modelo apresenta os menores requisitos de infraestrutura — normalmente é viável em portos menores com espaço limitado no cais —, mas exige, acima de tudo, proximidade geográfica ao local do parque eólico, uma vez que o tempo de trânsito dos CTVs afeta diretamente a disponibilidade dos técnicos e os custos operacionais. O Porto de Łeba (Polônia) e o Porto de Thorsminde (Dinamarca) ilustram como pequenos portos pesqueiros ou municipais, praticamente sem experiência prévia em energia eólica offshore, podem atrair bases de O&M financiadas por desenvolvedores simplesmente por estarem bem localizados. Para o Brasil, com seu extenso litoral e potencial distribuído de desenvolvimento de energia eólica offshore, inúmeros portos costeiros menores — além dos seis pré-selecionados — podem ser relevantes como bases de O&M assim que os primeiros parques eólicos entrarem em operação.

O modelo de O&M é financiado pelo desenvolvedor: normalmente, o desenvolvedor constrói e é proprietário das instalações de O&M em terrenos portuários arrendados, com um compromisso de capital limitado exigido do próprio porto. No entanto, os portos que desejam competir ativamente pelos negócios de O&M, particularmente em regiões onde vários portos menores estão dentro de um raio de trânsito viável do mesmo parque eólico, podem se beneficiar ao investir em infraestrutura básica de apoio: acesso a berços dedicados para CTVs e SOVs, armazenamento em pequena escala, instalações de bem-estar para tripulações e serviços públicos confiáveis. Os parâmetros competitivos para atrair negócios de O&M são principalmente a localização, a disponibilidade de berços e uma autoridade portuária disposta a colaborar.

A tabela abaixo ilustra as principais características, requisitos e os portos brasileiros mais adequados para cada modelo.

Tabela 5-4 Principais características das principais funções portuárias na cadeia de valor da OW

Dimensão	Porto de construção e agrupamento	Centro de fabricação e instalação	Porto de O&M
Atividade principal	Pré-montagem, armazenamento, logística de componentes	Fabricação, montagem principal, logística de instalação	Base de CTV/SOV, manutenção, peças de reposição
Necessidades de infraestrutura	Cais para cargas pesadas, áreas de armazenamento temporário, calado profundo, acesso para embarcações	Amplo hinterland, terminais dedicados, instalações de fabricação, calado profundo	Amarração para CTVs/SOVs, pequenos armazéns
Intensidade de investimento	Média (possível iniciar com melhorias incrementais no porto existente)	Alta (construção específica ou grande adaptação)	Baixa (superestrutura financiada pelo desenvolvedor)
Risco de mercado para o porto	Médio (caso a caso, com alguma possibilidade de diversificação)	Alto (depende do locatário âncora e do volume de dutos)	Baixo (compromisso de longo prazo do incorporador)
Duração da receita	Médio prazo (vinculado ao projeto)	Longo prazo (ciclo de vida da fabricação, 15–25+ anos)	Longo prazo (vida útil do parque eólico, 25+ anos)
Exemplos internacionais	Porto de Rønne	Porto de Cuxhaven, Porto de Hull, Porto de Esbjerg	Porto de Łeba, Porto de Thorsminde
Possíveis candidatos a portos no Brasil	Todos aguardam as melhorias necessárias	Suape, Porto Central, Rio Grande	A ser determinado pela localização dos parques eólicos

5.6.3 Modelos de incentivo e concorrência

Um desafio central para o Brasil não é a ausência de instrumentos regulatórios adequados — tanto o regime de portos organizados quanto o de TUP oferecem caminhos juridicamente viáveis —, mas a ausência de mecanismos que incentivem ativamente os proprietários de portos a se comprometerem com investimentos em infraestrutura específica para energia eólica offshore antes da confirmação de um pipeline de projetos.

A experiência internacional mostra que as decisões de investimento portuário em **energia eólica offshore** seguem uma **carteira de projetos** suficientemente clara e confiável, geralmente apoiada por esquemas de leilão ou outros mecanismos de estabilização de receita, que justifique o risco de infraestrutura. No Brasil, o modelo adequado para qualquer porto específico dependerá, portanto, não apenas de sua estrutura de propriedade e regime regulatório, mas também da escala e do ritmo de desenvolvimento dos projetos de energia eólica offshore: em um cenário de baixo crescimento, com poucos projetos confirmados, modelos colaborativos e incrementais são mais realistas; em um cenário de maior crescimento, com uma carteira de projetos visível e concentrada, abordagens mais estruturadas e intensivas em capital tornam-se viáveis.

Nesse contexto, os seguintes modelos de incentivo são avaliados como *arquétipos analíticos*, sintetizados a partir de práticas internacionais de desenvolvimento de portos eólicos offshore e da teoria mais ampla de investimento em infraestrutura. Esses modelos não estão formalmente codificados na literatura, mas refletem padrões recorrentes observados em diversas jurisdições.

Modelo 1 – Designação Competitiva de Portos (Liderada pelo Setor Público): Nesse modelo, o Governo Federal – por exemplo, por meio do MME e do MPOR, em coordenação com a ANTAQ – identificaria um ou mais portos prioritários para energia eólica offshore por meio de um processo de seleção competitivo. Os portos poderiam competir com base em critérios definidos (por exemplo, acessibilidade náutica; disponibilidade de área contígua no interior para armazenamento e pré-montagem; alinhamento com a PDZ; proximidade de áreas designadas para energia eólica offshore; disposição comprovada para investimento, etc.) para serem designados como um centro logístico reconhecido para energia eólica offshore.

A designação poderia trazer benefícios regulatórios concretos, como o processamento prioritário de alterações na PDZ para usos relacionados à energia eólica offshore, maior visibilidade junto a fabricantes de turbinas e desenvolvedores, e a possível inclusão nos critérios da metodologia de alocação de áreas (conforme previsto no CP 191). Embora não implique necessariamente em financiamento sob medida, estruturas de investimento público-privado — nas quais a designação confere elegibilidade para cofinanciamento federal ou estadual, posteriormente complementado por capital privado de portos ou desenvolvedores — poderiam fortalecer ainda mais o modelo. Essa abordagem se baseia nas estruturas de financiamento tripartite observadas em portos como Cuxhaven, onde as contribuições federais, estaduais e privadas cobriram, cada uma, aproximadamente um terço dos custos de expansão.

Internacionalmente, elementos dessa abordagem podem ser observados no desenvolvimento do Porto de Taichung e nos clusters eólicos offshore do Reino Unido, embora esses casos tenham se baseado em estruturas mais amplas de política industrial e não devam ser considerados diretamente transferíveis.

Entre os portos pré-selecionados, tal modelo poderia ser particularmente adequado aos Portos Públicos Organizados (Suape, Rio Grande, Imbituba), que respondem aos sinais de planejamento do governo e cujos processos de PDZ são supervisionados pelo governo federal. O mecanismo de designação competitiva também cria uma forma de concorrência entre portos em diferentes regiões, o que pode acelerar a prontidão para investimentos em todo o setor.

Um risco desse modelo é uma designação “simbólica” sem acompanhamento de investimentos ou, inversamente, uma designação que atraia investimentos iniciais, mas não consiga manter a competitividade à medida que o mercado evolui. A experiência internacional é instrutiva nesse sentido: o Porto de Bremerhaven, na Alemanha, foi promovido como o principal polo de energia eólica offshore da Europa no início dos anos 2000, mas, à medida que o setor se consolidou e os fabricantes de equipamentos originais (OEMs) transferiram a produção para locais de menor custo ou portos estrategicamente mais bem posicionados (notadamente Cuxhaven), o polo perdeu sua base competitiva. Para o Brasil, isso ressalta que a designação de um polo deve ser acompanhada por investimento público-privado sustentável e adaptabilidade de longo prazo, e não apenas pelo reconhecimento.

É importante observar que nenhuma estrutura de licitação pública existente no Brasil abrange formalmente esse tipo de designação competitiva de portos, e a viabilidade de tal processo exigiria uma avaliação muito mais detalhada, não incluída no escopo deste estudo.

Modelo 2 – Estratégia de Locatário-Âncora (Coinvestimento entre Fabricante de Equipamentos Originais [OEM] e Desenvolvedor): Esse modelo baseia-se no estabelecimento de uma relação comercial entre um operador portuário e um importante participante do mercado de energia eólica offshore (por exemplo, fabricante de turbinas ou desenvolvedor de projetos), em que:

- o locatário se compromete a utilizar as instalações portuárias (por exemplo, por meio de contratos de locação ou de prestação de serviços); e

- o porto realiza investimentos específicos em infraestrutura para atender às necessidades operacionais do locatário.

Essa abordagem reflete o modelo de “empresa âncora”, amplamente reconhecido no desenvolvimento de clusters industriais. Ela tem sustentado o surgimento de centros de fabricação e logística de energia eólica offshore em vários portos europeus. Esse é o modelo que impulsionou o desenvolvimento do Porto de Hull (fábrica de pás da Siemens Gamesa) e do Porto de Cuxhaven (fábrica de naceles da Siemens Gamesa e fábrica de torres da Titan Wind Energy).

Dentro do marco regulatório brasileiro, esse modelo é estruturalmente mais simples em TUPs como o Porto do Açu, o Porto de Pecém e Suape, onde operadores privados podem negociar diretamente com os locatários e celebrar contratos de longo prazo sem um processo de licitação pública. O Porto do Açu já atraiu vários memorandos de entendimento não vinculativos de desenvolvedores e fabricantes de energia eólica offshore, demonstrando interesse comercial em estágio inicial consistente com esse modelo.

Nos Portos Públicos Organizados, a alocação de áreas de longo prazo normalmente requer uma licitação competitiva. O mecanismo do Contrato de Uso Temporário (de até 48 meses) pode oferecer um caminho para o envolvimento inicial, particularmente para atividades de logística e instalação, mas provavelmente não será suficiente para investimentos em fabricação, que exigem segurança contratual de longo prazo para sustentar ativos de capital intensivo.

5.6.4 Principais conclusões e implicações

A análise nesta seção aponta para várias conclusões abrangentes que se aplicam às funções portuárias, aos modelos de governança e às trajetórias de desenvolvimento.

Em primeiro lugar, todos os seis portos pré-selecionados têm um papel potencial na cadeia de suprimentos da energia eólica offshore do Brasil, mas a natureza, a escala e o momento desse papel variam consideravelmente. As atividades de construção e manuseio são relevantes em toda a lista de pré-selecionados, sujeitas às melhorias identificadas no Capítulo 4, enquanto as ambições de se tornar um centro de fabricação são mais seletivamente aplicáveis a portos com grande espaço disponível ou compromissos claros com a energia eólica offshore. A operação e manutenção (O&M) é, em última instância, determinada pela localização geográfica em relação aos parques eólicos e se tornará relevante à medida que os primeiros projetos se concretizarem.

Em segundo lugar, os dois modelos descritos na Seção 5.6.3 não são mutuamente exclusivos e provavelmente funcionarão em paralelo em diferentes portos. O Modelo 1, de designação competitiva, é mais relevante para os Portos Públicos Organizados (Suape, Rio Grande, Imbituba), que respondem diretamente aos sinais de planejamento do governo e exigem o alinhamento com a PDZ antes que compromissos formais de investimento possam ser assumidos. O Modelo 2 — estratégias de locatário âncora — é mais diretamente aplicável nos portos do TUP (Açu, Porto Central e Pecém), onde operadores privados podem negociar acordos comerciais de longo prazo sem a exigência de licitações públicas. Ambos os modelos dependem, em última instância, da mesma condição subjacente: um portfólio de projetos visível e confiável. Sem ele, nem os operadores portuários nem os desenvolvedores têm certeza suficiente para se comprometerem com os investimentos em infraestrutura que o setor exige.

Em terceiro lugar, a forma como cada porto desenvolve sua infraestrutura refletirá sua posição inicial, estrutura de propriedade e o ritmo em que a certeza comercial se desenvolve, e provavelmente seguirá uma de duas trajetórias amplas, que não são alternativas, mas pontos em um continuum. Alguns portos podem estar em posição de se comprometer relativamente rápido com um *terminal dedicado*, seja como uma nova instalação construída especificamente para esse fim ou, no caso do Porto Central, como parte integrante de um porto totalmente novo em desenvolvimento. Para a maioria dos portos, no entanto, uma trajetória de desenvolvimento de curto prazo potencialmente preferível é a incremental: começando por acomodar as atividades de energia eólica offshore dentro da infraestrutura existente, utilizando terminais multifuncionais disponíveis, áreas logísticas ou realizando apenas pequenas melhorias (por exemplo, para operações nearshore). Isso minimiza a exposição inicial de capital, acumula experiência operacional e constrói relacionamentos com desenvolvedores, além de adiar decisões de

investimento maiores até que surja maior certeza de mercado. Contratos de arrendamento de curto prazo podem ser utilizados nesse sentido, e os Contratos de Uso Temporário (TUPs) fornecem um instrumento regulatório específico para viabilizar isso nos Portos Públicos Organizados. Essa trajetória incremental se reflete diretamente nos conceitos do Cenário Nearshore desenvolvidos para cada porto no Capítulo 4, que ilustram como a infraestrutura existente pode ser ativada para a energia eólica offshore a um custo relativamente baixo e em prazos curtos, com a opção de expandir para soluções maiores de energia eólica offshore à medida que a demanda se concretizar.

Quarto, do ponto de vista das políticas, o MPOR talvez precise diferenciar sua abordagem entre portos públicos organizados e TUPs operados pelo setor privado. Os portos organizados dependem mais de sinais de planejamento coordenado, alinhamento com as Zonas de Destinação Planejada (PDZ) e mecanismos de facilitação do setor público, enquanto os portos privados podem responder de forma mais dinâmica por meio de negociações comerciais. As conclusões também sugerem que parte da incerteza de investimento associada à infraestrutura portuária para energia eólica offshore poderia, quando apropriado, ser abordada por meio de mecanismos contratuais e regulatórios de alocação de riscos dentro de contratos de concessão e arrendamento, particularmente em portos públicos organizados. Os modelos brasileiros existentes de concessão portuária já oferecem exemplos de riscos retidos ou compartilhados pela Autoridade Concedente, incluindo atrasos na entrega da área, passivos ambientais desconhecidos, falhas associadas ao licenciamento portuário geral, alterações legislativas específicas que afetam o equilíbrio econômico-financeiro do contrato e atos administrativos ou judiciais que impedem as operações. Embora não sejam específicos para a energia eólica offshore, esses mecanismos ilustram como certos riscos não gerenciáveis ou sistêmicos podem ser parcialmente alocados ao setor público, a fim de apoiar o desenvolvimento de infraestrutura em condições de elevada incerteza.

6 Conclusões e próximos passos

6.1 Conclusões

O setor de energia eólica offshore do Brasil está entrando em uma fase decisiva. A adoção da Lei de Energia Eólica Offshore (Lei nº 15.097/2025) estabeleceu o primeiro marco legal abrangente para o setor, reduzindo a incerteza jurídica e criando as condições para que o desenvolvimento de projetos avance.

Nesse contexto, a infraestrutura portuária se destaca como um dos fatores facilitadores mais críticos e urgentes. A experiência internacional mostra que a preparação insuficiente dos portos pode atrasar os primeiros projetos e aumentar os custos, enquanto o desenvolvimento de infraestrutura adequada normalmente requer prazos de cinco a sete anos ou mais. A ação oportuna é, portanto, essencial para que o Brasil alinhe a preparação portuária com um crescente portfólio de projetos de energia eólica offshore.

Este estudo avaliou os portos brasileiros em relação aos requisitos de infraestrutura de dois cenários de desenvolvimento de energia eólica offshore — Large Offshore (turbinas de 15 a 20 MW, a mais de 20 km da costa) e Nearshore (turbinas de 6 a 8 MW, a até 20 km da costa) — por meio de um processo estruturado de triagem em cinco etapas, avaliação técnica detalhada e visitas in loco. As conclusões a seguir refletem os principais resultados.

Deve-se observar também que as conclusões aqui apresentadas refletem uma avaliação geral do potencial portuário e devem ser interpretadas como contribuições para o planejamento e o diálogo sobre políticas. Os resultados específicos do desenvolvimento seguirão os marcos de políticas públicas aplicáveis e os acordos comerciais entre desenvolvedores e operadores portuários, e não refletirão necessariamente os caminhos ou configurações avaliados neste estudo.

6.1.1 Infraestrutura portuária — prontidão geral

A infraestrutura portuária existente no Brasil não foi originalmente projetada levando em conta a energia eólica offshore. Dessa forma, nenhum dos portos selecionados está atualmente apto a abrigar um terminal dedicado à construção de projetos eólicos offshore em grande escala sem que sejam realizadas melhorias e investimentos. No entanto, a escala das obras necessárias varia consideravelmente entre os portos, e vários deles possuem as características físicas, o posicionamento geográfico e a intenção estratégica necessários para se tornarem centros viáveis de energia eólica offshore no período de 2030 a 2035, desde que as decisões de investimento sejam tomadas no curto prazo.

As principais restrições para o desenvolvimento de grandes projetos de energia eólica offshore nos portos pré-selecionados são:

- Disponibilidade de área de pátio: muitos portos com operações existentes estão com ocupação total ou quase total, sem espaço de armazenamento imediatamente disponível para componentes eólicos offshore. Nesses casos, seria necessária a criação de novos espaços de armazenamento — seja por meio de recuperação de terras, expansão ou desenvolvimento de novos terrenos. As principais exceções são o Porto de Rio Grande (Estaleiro EBR), onde o estaleiro subutilizado oferece um paredão de cais para cargas pesadas já existente e uma área de pátio substancial disponível, exigindo preparação em vez de novas instalações. Além disso, o Porto de Açu e o Porto Central (quando desenvolvido) possuem áreas pré-designadas para o desenvolvimento de energia eólica offshore.
- Capacidade de suporte dos cais: a maioria dos cais existentes foi projetada para cargas convencionais e atende apenas ao limite mínimo do requisito de 10–15 t/m² para grandes projetos de energia eólica offshore. A reconstrução ou nova construção de cais é necessária na maioria dos cenários.

- Restrições de canal de acesso e navegação: a maioria dos portos pré-selecionados atende aos parâmetros básicos de navegação, embora alguns exijam dragagem ou avaliação para as maiores embarcações de instalação (WTIVs). Restrições de largura do canal se aplicam em Pecém.
- Separação da infraestrutura das operações portuárias gerais: a construção de parques eólicos offshore requer áreas exclusivas, controladas por normas de Saúde, Segurança e Meio Ambiente (HSE), segregadas do tráfego portuário geral. Essa é uma restrição operacional significativa em portos com alta ocupação atual.

A energia eólica Nearshore apresenta, portanto, um caminho mais acessível no curto prazo em vários portos, com menores requisitos de infraestrutura, prazos de implementação mais curtos e menor investimento de capital. Aqui, dois cenários distintos foram considerados. Em uma configuração de terminal dedicado, os portos podem apoiar projetos em estágio inicial com melhorias direcionadas e moderadas, embora estas ainda exijam planejamento, investimento e tempo para serem implementadas. Em uma configuração de infraestrutura compartilhada, as atividades em águas rasas podem ser acomodadas utilizando terminais existentes com melhorias físicas mínimas. Essa abordagem, no entanto, introduz restrições operacionais, já que muitos portos já estão operando em sua capacidade máxima ou próxima dela, levando à competição por espaço, possíveis conflitos com os fluxos de carga existentes e capacidade limitada de garantir operações dedicadas e segregadas. Embora a Nearshore represente, portanto, um ponto de entrada viável, ela não deve ser considerada isenta de restrições ou sem custos do ponto de vista do planejamento portuário.

6.1.1.1 Conclusões por porto

Pecém (Nordeste) está bem posicionada geograficamente e demonstrou intenção genuína de desenvolver capacidade eólica offshore, refletida em seu Plano Diretor e na presença de um polo ativo de fabricação de pás eólicas. A configuração da ponte de acesso é a principal restrição técnica e o fator determinante na faixa de custos do conceito de Large Offshore proposto. Uma avaliação estrutural e logística da ponte é a ação inicial de maior prioridade. Pecém também é bem adequado para servir como um potencial centro de operação e manutenção (O&M) para a região Nordeste.

Suape (Nordeste) possui uma sólida infraestrutura de navegação e uma base industrial consolidada, mas sua distância dos locais propostos mais próximos para parques eólicos offshore (>400 km) é uma restrição significativa para as operações de construção de projetos na faixa de Large Offshore. Essa distância não desqualifica o porto, já que a qualidade de sua infraestrutura e seu potencial de expansão estão entre os mais sólidos de todos os candidatos do Nordeste, mas exige um estudo logístico e de viabilidade específico antes que o investimento em projetos na faixa de Large Offshore seja confirmado. Para a energia eólica nearshore, a restrição de distância é mais crítica, mas não necessariamente limitante, desde que haja planejamento adequado das atividades de construção do projeto. Suape, no entanto, não é adequada para O&M devido à sua distância atual dos locais propostos para parques eólicos offshore.

O Porto Central (Sudeste) apresenta o caminho de desenvolvimento mais desobstruído entre todos os portos do estudo, sem conflitos operacionais herdados, sem compromissos de arrendamento conflitantes e com uma zona de 50 ha destinada à Base de Abastecimento Offshore para atividades de energia offshore e abastecimento, sem usos concorrentes no terminal. As ações críticas no curto prazo são ajustes no projeto relativos à profundidade e à capacidade de suporte do cais, bem como a confirmação do programa de dragagem do canal de acesso.

O Porto de Açu (Sudeste) oferece a melhor adequação técnica de base entre todos os portos pré-selecionados, combinando acesso a águas profundas, capacidades estabelecidas de carga de projeto e logística offshore de petróleo e gás, além de experiência direta no manuseio de componentes eólicos. O modelo de governança do TUP de Açu também proporciona flexibilidade comercial que apoia estratégias de inquilino âncora e de desenvolvimento em estágio inicial. Ele está bem posicionado tanto para funções de construção quanto de operação e manutenção (O&M).

Imbituba (Sul) pode desempenhar um papel de construção e O&M em águas próximas à costa para a parte norte da zona sul do parque eólico offshore, mas um grande terminal offshore dentro dos limites atuais do porto não é viável devido a restrições espaciais e capacidade insuficiente do cais. A autoridade portuária manifestou disposição para investir, e o conceito de recuperação de terras (Cenário 1 em águas próximas à costa) é tecnicamente viável. O Porto de Laguna, operado pela mesma autoridade, oferece uma opção complementar de O&M.

Rio Grande — Estaleiro EBR (Sul) representa a oportunidade de terminal eólico offshore mais viável no curto prazo neste estudo, exigindo o menor investimento de capital entre todos os conceitos de grande terminal offshore analisados. O Estaleiro EBR, atualmente subutilizado, possui características físicas, escala e tradição industrial que se alinham diretamente aos requisitos de construção de energia eólica offshore, e a autoridade portuária demonstrou o maior envolvimento comercial entre todos os portos pré-selecionados no processo de solicitação de informações (RfI). A capacidade de suporte e a profundidade do cais exigem confirmação formal, mas não devem constituir obstáculos. Com o tempo, a zona do Estaleiro EBR tem potencial genuíno para evoluir para um centro integrado de fabricação e construção de energia eólica offshore.

6.1.2 Estrutura regulatória e institucional

O quadro regulatório portuário do Brasil é, em princípio, capaz de abrigar toda a gama de atividades portuárias relacionadas à energia eólica offshore. Tanto o regime de portos públicos organizados quanto o regime de autorização do TUP oferecem caminhos juridicamente viáveis. No entanto, o estudo identificou cinco lacunas estruturais que atualmente restringem o ritmo e a previsibilidade dos investimentos portuários para a energia eólica offshore:

- **Falta de coordenação entre o planejamento da energia eólica offshore e a regulamentação portuária:** atualmente, os Planos de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZs) não são obrigados a refletir as necessidades logísticas da energia eólica offshore, criando o risco de que os projetos avancem sem um planejamento portuário paralelo adequado.
- **Fragmentação de competências jurídicas:** os desenvolvedores de energia eólica offshore precisam interagir com diversas autoridades federais (MME, ANEEL, IBAMA, Marinha, ANTAQ, MPOR) sob regimes jurídicos distintos e sem um mecanismo de coordenação obrigatório, o que gera incerteza quanto à sequência de etapas e eleva os custos de transação.
- **Restrições à governança portuária de direito público:** o estabelecimento de terminais eólicos offshore dentro de Portos Públicos Organizados exige processos de aprovação em várias etapas que podem levar vários anos — o que está mal alinhado com os cronogramas de investimento em energia eólica offshore.
- **Desalinhamento entre títulos legais e cronogramas dos projetos:** arrendamentos portuários, direitos de área e licenças ambientais operam com durações e ciclos de renovação diferentes, sem coordenação jurídica explícita, afetando a viabilidade financeira ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.
- **Ausência de diretrizes de licenciamento ambiental específicas para o setor:** a falta de diretrizes dedicadas à infraestrutura portuária para energia eólica offshore significa que os processos de licenciamento são incertos e potencialmente demorados.

6.1.3 Modelos de desenvolvimento portuário e incentivos ao investimento

A condição essencial para o desenvolvimento de portos para energia eólica offshore no Brasil é o estabelecimento de um pipeline de projetos visível e confiável. Sem ele, nem as operadoras portuárias nem as desenvolvedoras têm certeza suficiente para se comprometerem com os investimentos em infraestrutura que o setor exige.

No curto prazo, a estratégia de entrada mais realista para a maioria dos portos pré-selecionados é uma abordagem de uso duplo ou de adaptação em fases, acomodando as atividades de energia eólica offshore dentro da infraestrutura existente sem investimento específico, acumulando

experiência operacional e construindo relacionamentos com desenvolvedores, ao mesmo tempo em que se adiam compromissos de capital mais significativos. À medida que a carteira de projetos se desenvolve, duas vias de expansão tornam-se relevantes: uma via liderada pelo setor público por meio da designação competitiva de portos (designação estruturada pelo governo de portos prioritários para energia eólica offshore, vinculada à elegibilidade para financiamento e à aceleração do PDZ) e uma via liderada pelo setor privado por meio de estratégias de locatários âncora (operadoras de TUP negociando compromissos de longo prazo com fabricantes de equipamentos originais ou desenvolvedores). O desenvolvimento greenfield voltado especificamente para a energia eólica offshore representa o modelo que mais exige capital e requer a maior certeza quanto à carteira de projetos.

6.1.4 Avaliação geral

O Brasil combina condições naturais favoráveis, uma base industrial estabelecida e um marco regulatório emergente que, juntos, proporcionam uma base sólida para o desenvolvimento de uma rede de portos eólicos offshore. Os seis portos pré-selecionados, distribuídos por três regiões costeiras, oferecem uma cobertura geográfica amplamente adequada aos parques eólicos atualmente propostos pelo mercado.

Ao mesmo tempo, o nível de preparação varia dependendo da escala e do tipo de implantação. Para projetos em águas rasas, vários portos poderiam ser adaptados por meio de melhorias direcionadas e graduais, possibilitando atividades iniciais como pré-montagem, preparação e operações e manutenção. Em contrapartida, nenhum dos portos pré-selecionados está atualmente totalmente equipado para abrigar um terminal dedicado à construção de parques eólicos offshore em grande escala. Como essas melhorias são geralmente complexas e sujeitas a longos prazos de desenvolvimento e licenciamento, o momento certo é um fator crítico.

As recomendações apresentadas na seção a seguir abordam essas restrições gerais e são relevantes tanto para os caminhos de desenvolvimento em águas rasas quanto para os de grande escala.

6.2 Principais recomendações

As recomendações abaixo estão estruturadas em torno de dois horizontes temporais. As ações de curto prazo (2026–2028) são medidas facilitadoras que podem ser avançadas apesar da incerteza remanescente na carteira de projetos. As ações de médio prazo (2029–2032) são aquelas que se tornam críticas à medida que a carteira de projetos eólicos offshore se consolida e as decisões de investimento se aproximam.

6.2.1 Ações de curto prazo (2026-2028)

Priorizar a emissão de regulamentação secundária nos termos da Lei de Energia Eólica Offshore: Espera-se que a alocação de áreas para energia eólica offshore funcione como o principal fator desencadeador das decisões de investimento, incluindo aquelas relacionadas à infraestrutura portuária. A regulamentação secundária que esclareça os mecanismos de alocação de áreas, os requisitos de qualificação e os marcos dos projetos é, portanto, uma pré-condição para que haja progresso significativo em todas as demais recomendações. Sem ela, os operadores privados não têm certeza suficiente para comprometer capital em infraestrutura especializada.

Avançar no planejamento espacial da energia eólica offshore e na identificação de zonas prioritárias de desenvolvimento: antes que a alocação de áreas possa fornecer sinais significativos de investimento, deve haver clareza suficiente sobre onde se espera que ocorra o desenvolvimento da energia eólica offshore e em que escala. O Escritório de Pesquisa Energética (EPE) recebeu, por meio da resolução do CNPE de abril de 2026, a responsabilidade de conduzir os estudos técnicos, econômicos, ambientais e sociais que servirão de base para a identificação dos prismas de energia eólica offshore. Avançar nesses estudos e disponibilizar publicamente seus resultados o mais rápido possível é uma condição prévia para um planejamento significativo

de investimentos portuários, uma vez que os portos não podem avaliar de forma confiável sua própria relevância, priorizar investimentos em infraestrutura ou se envolver comercialmente com desenvolvedores na ausência de certeza geográfica.

Integrar a logística da energia eólica offshore aos instrumentos de planejamento portuário: os atuais Planos de Desenvolvimento e Zoneamento Portuário (PDZs) são elaborados com base nos fluxos de carga existentes e não refletem adequadamente os requisitos logísticos da energia eólica offshore, incluindo montagem de componentes em grande escala, operações de carga pesada e atividades de manobra. Isso cria um risco estrutural de que os projetos de energia eólica offshore avancem sem uma adaptação paralela do zoneamento portuário e do planejamento de infraestrutura. Os PDZs devem ser atualizados para refletir os requisitos logísticos da energia eólica offshore. Esse processo deve ser liderado pelo MPOR/Governo Federal em coordenação com as autoridades portuárias relevantes e o MME, com a ANTAQ contribuindo dentro de seu mandato regulatório e de supervisão. Ele poderia ser apoiado por diretrizes nacionais para integrar os requisitos logísticos da energia eólica offshore aos instrumentos de planejamento portuário, particularmente Planos Diretores e PDZ. Sem o alinhamento dos PDZs, os operadores portuários enfrentam incertezas regulatórias que atrasarão as decisões de investimento. Ao mesmo tempo, deve-se observar que a modernização das PDZs para incorporar casos de uso da energia eólica offshore é necessária, mas pode não ser suficiente, dados os longos ciclos de revisão associados a esses instrumentos. Portanto, paralelamente, mecanismos provisórios — como autorizações de uso temporário, disposições flexíveis de zoneamento ou áreas de projetos-piloto — podem ser considerados para permitir a adaptação inicial da infraestrutura portuária antes das revisões formais das PDZs.

Promover a coordenação interinstitucional antecipada, com base na plataforma PUG-Offshore. A atual distribuição de competências regulatórias entre o MME, a ANEEL, o IBAMA, a Marinha do Brasil, a ANTAQ e o MPOR gera incerteza quanto à sequência de procedimentos, o que eleva os custos de transação e prolonga os prazos de aprovação tanto para desenvolvedores quanto para operadores portuários. O desenvolvimento em andamento do PUG-Offshore pelo MME é um passo relevante rumo a uma maior integração, particularmente para o regime de oferta permanente. No entanto, são necessários esforços adicionais para definir caminhos claros de interação entre as autoridades, estabelecer sequências transparentes de licenciamento e reduzir o risco de requisitos conflitantes ou sobrepostos. Deve-se dar atenção especial à integração dos processos de licenciamento ambiental no cronograma regulatório mais amplo.

Promover adaptações portuárias antecipadas em regiões com atividade offshore de petróleo e gás já estabelecida. Portos em regiões com atividade offshore de petróleo e gás consolidada, como o Porto de Açu ou o de Rio Grande, que estão na lista de pré-seleção, estão comparativamente bem posicionados para a adaptação à energia eólica offshore em estágio inicial, dada a maior disponibilidade de dados técnicos de referência, a familiaridade das autoridades regulatórias com operações offshore e a infraestrutura logística existente. As instalações que operam sob o regime do TUP também oferecem maior flexibilidade comercial, permitindo o envolvimento direto com desenvolvedores e fabricantes de equipamentos originais (OEMs). O diálogo comercial precoce, incluindo acordos pré-comerciais e memorandos de entendimento (MoUs) estruturados com marcos específicos, deve ser incentivado como forma de construir visibilidade do pipeline e experiência operacional antes das primeiras decisões sobre os projetos.

Resolver o desalinhamento entre os instrumentos jurídicos e os cronogramas dos projetos. Os projetos de energia eólica offshore normalmente exigem controle do local e acesso à infraestrutura por períodos de 25 a 30 anos, enquanto os contratos de arrendamento portuário e as licenças ambientais operam sob horizontes temporais mais curtos e, muitas vezes, fragmentados. Os contratos de arrendamento portuário têm duração mais curta e estão sujeitos a renovação regulatória; as licenças ambientais são emitidas em etapas e estão sujeitas a revisão periódica. A falta de coordenação jurídica explícita entre esses instrumentos gera incerteza quanto à continuidade do acesso portuário ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, afetando a bancabilidade e aumentando os custos de financiamento. As ações de curto prazo devem se concentrar na identificação desses instrumentos. O MPOR, juntamente com a ANTAQ, poderia

liderar a coordenação desse processo, particularmente no caso dos Portos Públicos Organizados, de forma semelhante aos acordos de coordenação já observados em outros setores regulados que envolvem múltiplas autoridades no contexto de processos licitatórios e contratos de concessão.

Fortalecer a capacidade e a padronização do licenciamento ambiental: O licenciamento ambiental provavelmente será um fator determinante para os cronogramas dos projetos. Os processos atuais, liderados pelo IBAMA, exigem muitos recursos e podem enfrentar restrições de capacidade à medida que as atividades de energia eólica offshore se expandirem. O desenvolvimento de metodologias padronizadas de avaliação, a melhoria da capacidade institucional e o esclarecimento dos requisitos para avaliações de impacto cumulativo serão essenciais para reduzir a incerteza e evitar gargalos que possam atrasar tanto os projetos quanto os investimentos portuários associados.

6.2.2 Ações de médio prazo (2029-2032)

Iniciar mecanismos de redução de riscos financeiros para viabilizar investimentos portuários antecipados: Mesmo com maior clareza regulatória, os altos custos de capital, os riscos cambiais e as estruturas de receita incertas podem continuar a restringir o investimento privado em infraestrutura portuária. Instituições financeiras públicas, particularmente o BNDES, podem desempenhar um papel fundamental por meio de estruturas de financiamento misto, empréstimos concessionais ou mecanismos de garantia. O desenvolvimento antecipado desses instrumentos pode ser um importante facilitador para investimentos oportunos em melhorias na infraestrutura portuária.

Promover mecanismos de zoneamento baseados em incentivos no âmbito dos instrumentos de planejamento portuário e industrial. À medida que os sinais de demanda provenientes da carteira de projetos de energia eólica offshore se tornarem mais claros, os instrumentos de planejamento portuário e industrial da região poderão ser atualizados para incorporar um zoneamento baseado em incentivos para atividades industriais relacionadas à energia eólica offshore. Isso pode incluir a designação de áreas estratégicas para a energia eólica offshore dentro das PDZs, o alinhamento das ferramentas locais de planejamento urbano com instrumentos federais, como o REIDI, e o uso ou a expansão potencial de Zonas de Processamento de Exportação (ZPEs) ou regimes semelhantes para possibilitar incentivos fiscais, agilização do licenciamento e acesso prioritário à infraestrutura para atividades da cadeia de suprimentos. Tais medidas poderiam apoiar o desenvolvimento de clusters industriais em regiões específicas.

Promover a transição da força de trabalho e o desenvolvimento de capacidades: Embora o Brasil possua uma forte força de trabalho no setor de petróleo e gás offshore, a energia eólica offshore apresenta requisitos técnicos, operacionais e de segurança distintos. Programas estruturados de transição da força de trabalho, incluindo iniciativas de treinamento, certificação e transferência de conhecimento, devem ser desenvolvidos para garantir que a disponibilidade de mão de obra não se torne um obstáculo. Portos e clusters industriais associados podem servir como pontos focais para essas atividades.

6.3 Recomendações para estudos futuros

Embora este estudo forneça uma avaliação estruturada da preparação dos portos para a energia eólica offshore no Brasil, várias áreas podem ser objeto de análises mais aprofundadas, a fim de apoiar decisões de investimento e o desenvolvimento de políticas.

Estudo de viabilidade para um ou mais dos portos pré-selecionados: Os conceitos indicativos apresentados no Capítulo 4 baseiam-se em estimativas de custo em estágio inicial (Classe 5). Antes de quaisquer decisões de investimento, pode-se realizar um estudo de viabilidade específico para um dos portos com maior potencial para acomodar atividades de construção de energia eólica offshore. Tais estudos, embora ainda no nível de viabilidade, incluiriam avaliações de engenharia mais detalhadas, estimativas de custo refinadas com intervalos de precisão mais

estreitos e um envolvimento mais profundo com as autoridades portuárias sobre o caminho de desenvolvimento mais realista, incluindo a escolha entre uma estratégia de entrada “Nearshore” e “Large Offshore”.

Contribuição para o desenvolvimento do Plano Diretor portuário para portos sem instrumentos de planejamento existentes: Vários portos avaliados durante o processo de triagem, incluindo portos no Piauí e no Rio Grande do Norte, não avançaram para a avaliação detalhada devido ao estágio inicial de seu desenvolvimento. À medida que o pipeline de energia eólica offshore do Brasil se desenvolve e os sinais de demanda geográfica se tornam mais claros, alguns desses portos podem emergir como candidatos relevantes no futuro. Um esforço específico poderia ser direcionado para apoiar o desenvolvimento de Planos Diretores para esses portos, incorporando considerações sobre a energia eólica offshore, de modo que os instrumentos resultantes sejam adequados à finalidade à medida que o setor se desenvolve.

Potencial eólico offshore em lagoas e corpos d’água costeiros protegidos: Além do escopo da presente avaliação, vale ressaltar que o Brasil possui várias lagoas costeiras e corpos d’água protegidos significativos, incluindo a Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul, que podem oferecer condições adequadas para o desenvolvimento de energia eólica nearshore ou offshore de pequena escala, com menor custo e complexidade do que em ambientes de mar aberto. Um estudo específico que avalie a viabilidade técnica, o potencial de recursos e as implicações regulatórias poderia ser relevante tanto para o planejamento portuário quanto para o caminho mais amplo de implantação no Brasil, incluindo possíveis sinergias com a energia solar flutuante já em implantação em algumas massas d’água brasileiras.

Análise das tecnologias eólicas offshore relevantes para o Brasil: Os requisitos de infraestrutura avaliados neste estudo baseiam-se na tecnologia atual de fundo fixo, utilizando fundações do tipo monopilar e jacket. Uma análise tecnológica dedicada poderia avaliar todas as tecnologias de turbinas, tipos de fundações e conceitos de instalação em relação às condições específicas do Brasil — incluindo profundidades da água, geologia do leito marinho e ambiente meteorológico-oceânico — e em que prazo cada uma poderia ser realisticamente implantada. Isso poderia abranger toda a gama de opções de fundações de fundo fixo, bem como conceitos flutuantes, dadas as extensas áreas de águas profundas do Brasil além do alcance das fundações de fundo fixo.

Desenvolver um roteiro integrado para a energia eólica offshore no Brasil: Já existem diversos estudos de alto nível e análises de cenários sobre energia eólica offshore para o Brasil, incluindo trabalhos realizados no âmbito do Programa de Desenvolvimento de Energia Eólica Offshore do Grupo Banco Mundial, em colaboração com o MME e a EPE. Esses estudos fornecem uma base sólida em termos de potencial de recursos, cenários iniciais de mercado e estruturas políticas facilitadoras. No entanto, poderia haver uma oportunidade adicional para traduzir essas avaliações de alto nível em um roteiro estruturado e voltado para a implementação, que vincule o desenvolvimento de projetos ao planejamento de infraestrutura e investimentos. Um roteiro para a próxima fase deveria, portanto, se concentrar na integração de:

- zonas priorizadas de desenvolvimento de energia eólica offshore e agrupamentos realistas de projetos
- requisitos portuários e logísticos (instalação, agrupamento, O&M)
- restrições de transmissão e conexão à rede
- cenários de implantação em fases com base na maturidade do projeto e na viabilidade comercial

Como parte desse roteiro, pode ser realizada uma avaliação técnico-econômica e de prontidão de mercado (descrita mais detalhadamente abaixo como um possível estudo separado) para consolidar o portfólio emergente de projetos em trajetórias de implantação realistas (cenários baixo, médio e alto) e avaliar a viabilidade comercial sob diferentes estruturas de mercado (leilões, PPAs corporativos, compra vinculada ao hidrogênio).

Estudo de caso de viabilidade integrada do local — parque eólico e porto: Um estudo de caso que combine a avaliação técnica de um local específico para um parque eólico offshore com

uma avaliação detalhada do porto ou portos que o atenderiam proporcionaria uma análise mais fundamentada e relevante para o investimento do que qualquer um dos elementos poderia oferecer isoladamente. Tal estudo avaliaria toda a cadeia logística, desde a fabricação de componentes, passando pelo manuseio portuário, até a instalação offshore, quantificaria a sensibilidade da economia do projeto à prontidão da infraestrutura portuária e identificaria os itens do caminho crítico que precisam ser resolvidos antes que uma decisão final de investimento possa ser tomada. Esse tipo de estudo integrado seria particularmente valioso à medida que os primeiros projetos em escala comercial do Brasil se aproximam da fase de viabilidade, proporcionando tanto aos desenvolvedores quanto às autoridades portuárias uma base analítica comum para o planejamento de investimentos.

Avaliar a viabilidade financeira e as estruturas de financiamento para investimentos

portuários: São necessários trabalhos adicionais para avaliar a viabilidade financeira da infraestrutura portuária relacionada à energia eólica offshore, incluindo os níveis de utilização esperados, modelos de receita e alocação de riscos. Isso pode ser complementado por um mapeamento dos mecanismos de financiamento disponíveis — como o Fundo Climático do BNDES, o Programa Eco Invest e outros instrumentos de financiamento público ou misto — para identificar estruturas de financiamento viáveis e possíveis lacunas.

Analisar as restrições de conexão à rede e de integração ao sistema: Com base na Metodologia de Seleção de Áreas da EPE, que aborda considerações relacionadas à rede e à integração ao sistema na definição de áreas para energia eólica offshore, estudos futuros poderiam avaliar o alinhamento entre as zonas de desenvolvimento de energia eólica offshore, a localização dos portos e a capacidade da rede em terra. Isso inclui identificar pontos de conexão prioritários, possíveis gargalos de transmissão e implicações para o sequenciamento dos projetos. Sem essa perspectiva em nível de sistema, há o risco de desalinhamento entre os investimentos portuários e a realização efetiva dos projetos. A coordenação dessa análise com o trabalho em andamento da EPE evitaria duplicação de esforços e garantiria que o planejamento de investimentos portuários permaneça consistente com a estrutura em nível de sistema que a EPE está desenvolvendo.

Mapeamento das trajetórias de desenvolvimento da cadeia de suprimentos, das

necessidades de política industrial e da atratividade para investimentos: É necessária uma avaliação mais detalhada das oportunidades da cadeia de suprimentos da energia eólica offshore no Brasil, abrangendo os segmentos de fabricação, montagem e logística, associada a uma avaliação das medidas políticas necessárias para apoiar o desenvolvimento industrial local, incluindo incentivos, estratégias de localização e integração com as capacidades existentes em petróleo e gás offshore. Um estudo complementar sobre a atratividade para investimentos pode avaliar a posição competitiva do Brasil na atração de investimento estrangeiro direto de fabricantes de turbinas (OEMs), fabricantes de componentes e empreiteiras de instalação, identificando as condições regulatórias, fiscais e de infraestrutura necessárias para competir com outros mercados emergentes de energia eólica offshore. Tal estudo poderia servir de base para um envolvimento direcionado com os principais OEMs e desenvolvedores por parte do MME e da parceria energético-dinamarquesa-brasileira.

Elaborar avaliações de impacto socioeconômico: Análises socioeconômicas direcionadas, atualmente fora do escopo deste estudo, podem ser realizadas para quantificar os benefícios potenciais do desenvolvimento da energia eólica offshore, particularmente em termos de geração de empregos, atividade econômica regional e desenvolvimento industrial. Essa base de evidências pode apoiar a tomada de decisões tanto por parte dos formuladores de políticas quanto das autoridades portuárias e ajudar a construir um alinhamento em torno das prioridades de investimento.

Avaliar a viabilidade técnico-econômica e a prontidão do mercado para o desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil: Dada a fase inicial dos projetos de energia eólica offshore no Brasil, são necessários trabalhos adicionais para avaliar a viabilidade técnica, econômica e comercial integrada da energia eólica offshore no país e suas implicações para o desenvolvimento de infraestrutura. O estudo pode combinar análises em nível de projeto e de sistema, incluindo a viabilidade do local em zonas específicas de desenvolvimento prioritário (recursos eólicos,

condições meteorológicas e oceânicas, geotécnicas e de construtibilidade), a definição de grupos de projetos realistas e o alinhamento com os requisitos portuários e logísticos (conceitos de instalação, agrupamento de equipamentos e operação e manutenção).

Paralelamente, deve-se avaliar as estruturas de mercado sob diferentes trajetórias de desenvolvimento, incluindo leilões, PPAs corporativos e estruturas de compra vinculadas ao hidrogênio, com base em análises de sensibilidade dos principais fatores econômicos, como preços de eletricidade, custos de financiamento, taxas de câmbio e tendências de CAPEX. O resultado deve ser consolidado em cenários realistas de implantação baixa, média e alta para melhorar a visibilidade quanto ao cronograma, à escala e às necessidades de infraestrutura.

Referências

- Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA). (March de 2025). *Complexos Eólicos Offshore - Projetos com processo de licenciamento ambiental aberto no IBAMA*.
- Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources (IBAMA). (2025). *Offshore wind complexes projects with environmental licensing processes open at IBAMA*.
- Brazilian Institute of Environmental and Renewable Natural Resources. (2026). *Offshore wind complexes projects with environmental proceses open at IBAMA*.
- Chen, L., & Jifu Zhou, X. W. (2018). Nonlinear Wave Loads on High-rise Pile Cap Structures in the Donghai Bridge. *International Journal of Offshore and Polar Engineering*.
- DEA, COWI. (2022). *India Offshore Wind Ports Study, A study of existing ports to serve the installation and opertions & maintenance of offshore wind projects off the coasts of Gujarat and Tamil Nadu*. Centre of Excellence for Offshore Wind and Renewable Energy.
- DEA, COWI. (2024). *International Experiences on the Development of Offshore Wind Ports – Regulatory and Financial Incentives (Colombia)*.
- DEA, COWI. (2024). *Ports for Offshore Wind in Vietnam*.
- Government of Brazil. (2026). *Planos Mestres (Master Plans)*. Fonte: [www.gov.br: https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/planejamento-portuario/planos-mestres-portos](http://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/transporte-aquaviario/planejamento-portuario/planos-mestres-portos)
- Ministry of Infrastructure. (2019). *Plano Mestre do Complexo Portuario de Recife e Suape (Master Plan)*.
- Ministry of Mines and Energy. (2020). *Roadmap Eólica Offshore Brasil*.
- Porto Central. (2022a). *Porto Central Layout - Phase 1*.
- Porto Central. (2022b). *Porto Central Layout - Phase 5*.
- Portos RS - Autoridade Portuária dos Portos do Rio Grande Do Sui. (2026). *O Papel Dos Portos Para o Desenvolvimento De Eolicas Offshore*.
- Ramboll. (2022). *Paving the Way for Ceará's Offshore Wind Industry*.
- Suape - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros. (2022). *Port Master Plan*.
- SYSTEMIQ. (2025). *Capturing the Offshore Wind Opportunity*.
- UK Government. (2022). *Cadeias de Valor e de Inovação da Eólica Offshore no Brasil*.
- World Bank. (2024). *Scenarios for offshore wind development in Brazil*.

Anexos

Apêndice 1: Visão geral dos portos

Tabela 0-1 : Visão geral das características dos portos e seleção por meio das etapas de triagem

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapa 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapa 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapa 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapa 5: Seleção – Resultados da Rfl
Santana	"0°03'46""S 51°09'59""W	Anapa	Nordeste.	Companhia Docas de Santana (CDSA)	> 900	Loa = 200 B = 21,6 D = 11,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Vila do Conde	1°32'22"S 48°45'00"W	Para'	Nordeste.	Companhia Docas do Pará (CDP)	> 750	Loa = 250 B = desconhecido, sem restrições D = 12,2	Sim	Sim	Não	Não	Não
Belém	1°26'15"S 48°29'43"W	Paraíba	Nordeste.	Companhia Docas do Pará (CDP)	> 750	L = 180 / 261 B = desconhecido, sem restrições D = 7 / 11,8	Não	Sim	Não	Não	Não
Itaqui	2°34'22"S 44°22'24"W	Maranhão	Nordeste.	Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP) / privada	> 300	L = 320 B = desconhecida, sem restrições D = 18,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Pecém	3°31'43"S 38°47'50"W	Ceará	Nordeste.	"O Complexo Industrial e Portuário do Pecém — CIPP é uma joint	< 200	L = 300 B = 56 D = 15	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapa 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapa 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapa 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapa 5: Seleção – Resultados da Rfl
				venture formada pelo Governo							
Fortaleza	3°42'32"S 38°28'28"W	Ceará	Nordeste.	do Estado do Ceará e do Porto de Roterdã",	< 200	L = 220 B = 33 P = 11 Até: L = 220 B = 44 D = 12,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Areia Branca	4°49'22"S 37°02'38"W	Rio Grande do Norte	Nordeste.	Companhia Docas do Ceará (CDC)	< 250	Embarcações no cais L = 250 B = 32 P = 11 Embarcações de cais C = 100 B = 10 D = 7	Não	Nº	Não	Não	Não
Natal	5°46'22"S 35°12'20"W	Rio Grande do Norte	Nordeste.	Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN)	< 300	L = 208 B = 32 P = 10	N.º	Não	Não	Não	Não
Cabedelo	6°58'21"S 34°50'23"W	Paraíba	Nordeste.	Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN)	< 400	L = 202 B = 40 P = 9,15	Sim	Sim	Não	Não	Não
Recife	8°02'59"S 34°52'01"W	Pernambuco	Nordeste.	Companhia Docas da Paraíba (Docas–PB)	< 500	L = 230 B = 32. D = 9,5	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Suape	8°23'32"S 34°57'56"W	Pernambuco	Nordeste.	Porto do Recife S.A.	< 500	L = 343 B = 55 P = 17,3	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapas 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapas 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapas 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapas 5: Seleção – Resultados da Rfl
						C = 343 B = 35 D = 14,3					
Maceió	9°40'52"S 35°43'28"W	Alagoas	Nordeste.	SUAPE – Complexo Industrial Portuário	> 500	L = 300 B = sem limite P = 10,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Sergipe/Terminal - Braskem	10°50'37"S 36°55'11"W	Sergipe	Nordeste.	Companhia Docas do Rio Grande do Norte (CODERN)	> 700	L = 175 B = sem limite P = 8,4	Não	Não	Não	Não	Não
Aratu	12°47'22"S 38°29'08"W	Bahia	Nordeste.	Empresa privada	> 900	L = 250 B = 35 D = 13,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Salvador	12°57'40"S 38°30'31"W	Bahia	Nordeste.	Companhia das Docas do Estado da Bahia (CODEBA)	> 900	L = 305 B = 48 P = 14	Sim	Sim	Não	Não	Não
Ilhéus	14°46'42"S 39°01'43"W	Bahia	Sudeste.	Companhia Docas do Estado da Bahia (CODEBA)	> 900	L = 190 B = sem limite P = 9,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Barra do Riacho	19°50'30"S 40°03'31"W	Espírito Santo	Sudeste.	Companhia Docas do Estado da Bahia (CODEBA)	< 400	L = 230 B = 35 P = 10,5/12,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
TUP Imetame	19°51'29"S 40°03'58"W	Espírito Santo	Sudeste.	Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA)	< 300	L = 360 B = 51 P = 15	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Estaleiro Jurong	19°51'49"S 40°04'02"W	Espírito Santo	Sudeste.	Grupo Imetame	< 300	L = 330 B = 52,8 P = 15,2	Sim	Sim	Não	Não	Não
Terminal Marítimo de Praia Mole e Terminal de Praia	20°17'37"S 40°14'32"W	Espírito Santo	Sudeste.	Startree Investments Pte Ltd	< 250	L = 360 B = 66 P = 23	Sim	Sim	Não	Não	Não

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapa 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapa 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapa 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapa 5: Seleção – Resultados da Rfl
Mole e Terminal Tubarão				/ Empresa privada Seatrim Limited							
Vitória	20°19'26"S 40°20'10"W	Espírito Santo	Sudeste.	Diversas empresas privadas	< 250	L = 220 B = 32 P = 12,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Terminal Marítimo - Ponta Ubu	20°47'12"S 40°34'23"W	Espírito Santo	Sudeste.	Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA)	< 200	L = 300 B = 59 D = 16,8	Sim	Sim	Não	Não	Não
Porto Central	21°13'26"S 40°56'45"W	Espírito Santo	Sudeste.	Samarco Mineração S.A., uma empresa de mineração	< 200	L = 360 B = 60 P = 23	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Açu	21°51'14"S 41°00'50"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Porto Central Complexo Industrial Portuário S.A., controlada pela TPK Logística S.A.	< 200	L = 340 B = 60 P = 20	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Imbetiba	22°23'06"S 41°46'04"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Porto do Açu Operações, administradora e proprietária do porto	< 200	L = 92 B = 18 P = 7,5	Nº	Não	Não	Não	Não
Forno	22°58'17"S 42°00'54"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Petrobras	< 200	L = 200 B = não especificado D = 9,15	Não	Não	Não	Não	Não
Niterói	22°52'50"S 43°07'03"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Companhia Municipal de Administração Portuária (COMAP)	< 200	L = 140 B = 21 P = 7,5/6	Nº	Não	Não	Não	Não

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapas 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapas 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapas 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapas 5: Seleção – Resultados da Rfl
Rio de Janeiro	22°53'00"S 43°12'01"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ)	< 200	L = 300 B = 35 P = 14,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Itaguaí	22°56'02"S 43°50'41"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ)	< 300	L = 320 B = 45 P = 17,8	Sim	Sim	Sim	Não	Não
TUP Brasfels	23°00'10"S 44°14'49"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ)	< 300	L = 300 B = não especificado P = 12,8	Sim	Sim	Não	Não	Não
Angra dos Reis	23°00'49"S 44°18'53"W	Rio de Janeiro	Sudeste.	Empresa privada Seatrim Limited	< 300	L = não especificado B = não especificado D = 8,5	Não	Sim	Não	Não	Não
São Sebastião	23°48'44"S 45°23'56"W	São Paulo	Sudeste.	Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ)	< 400	L = 275 B = não especificado P = 10	Sim	Sim	Sim	Não	Não
de Santos	23°57'55"S 46°17'46"W	São Paulo	Sudeste.	Companhia Docas de São Sebastião (CDSS)	< 500	L = 350 B = 35 P = 15	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Antonina	25°27'20"S 48°40'34"W	Paraná	Sul	Companhia Docas do Estado de São Paulo (CODESP) e terminais de uso privado	> 500	L = 200 B = 33 P = 9	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Paranaguá	25°29'58"S 48°30'19"W	Paraná.	Sul	Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA)	> 500	L = 360 B = 51 P = 12,5	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapa 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapa 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapa 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapa 5: Seleção – Resultados da Rfl
Itapoá	26°11'07"S 48°36'08"W	Santa Catarina	Sul	Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina (APPA)	> 400	L = 330 B = 49 P = 12,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
São Francisco do Sul	26°14'17"S 48°38'30"W	Santa Catarina	Sul	Itapoá Terminais Portuários S.A.	> 400	L = 300 B = 40 P = 12,5	Sim	Sim	Não	Não	Não
Itajaí	26°53'59"S 48°39'47"W	Santa Catarina	Sul	Administração dos Portos de São Francisco do Sul (APSFS)	< 400	L = 330 B = 48 P = 12 C = 200 B = 32 D = 9	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Imbituba	28°13'41"S 48°39'08"W	Santa Catarina	Sul	Superintendência do Porto de Itajaí	< 200	L = 306 B = 45 P = 13,5	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Laguna	28°29'50"S 48°46'10"W	Santa Catarina	Sul	SCPAR Porto de Imbituba S. A.	< 200	L = 45 B = desconhecido P = 5	Nº	Não	Não	Não	Não
Porto Alegre	30°01'21"S 51°13'26"W	Rio Grande do Sul	Sul	SCPAR Porto de Imbituba S. A.	< 300	L = 220 B = 18 P = 5	Sim	Não	Não	Não	Não
Pelotas	31°46'56"S 52°19'59"W	Rio Grande do Sul	Sul	Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul (SPH)	< 350	L = 120 D = 5,18	Sim	Não	Não	Não	Não
Rio Grande	32°02'33"S 52°03'49"W	Rio Grande do Sul	Sul	Superintendência de Portos e Hidrovias do Rio Grande do Sul (SPH)	< 300	L = 240 B = 20 P = 9,45 C = 360	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Nome do porto	Coordenadas	Estado	Área do Parque Eólico Offshore	Propriedade	Distância até o parque eólico offshore mais próximo [km]	Dimensões projetadas da embarcação: Comprimento total (Loa) x Largura (B) x Calado (D) [m]	Área do estaleiro > 20 ha	Etapa 2: Seleção – Triagem preliminar	Etapa 3: Seleção – Triagem intermediária	Etapa 4: Seleção – Triagem detalhada	Etapa 5: Seleção – Resultados da Rfl
						B = 56 D = 12					
*Piauí	2° 51' 16,67" S 41° 38' 36,71" W	Piauí	Nordeste	Investe Piauí	< 200	NA	N/A	N/A	N/A	N/A	Não
*Rio Grande do Norte	5° 05' 07" S 36° 06' 39" W	Rio Grande do Norte	Nordeste	Governo do Estado do Rio Grande	< 200	L = 288 B = 60 P = 14,1	Sim	N/A	N/A	N/A	Não

Apêndice 2: Portos desmarcadas

Portos desmarcados na Etapa 2 – Triagem preliminar



Figura A-1: Resultados da seleção de portos na Etapa 2

A distribuição geográfica dos portos selecionados é ilustrada na figura acima, na qual os portos excluídos durante a triagem preliminar são mostrados em vermelho, e aqueles selecionados para avançar para a próxima etapa são mostrados em verde. As legendas são exibidas apenas para os portos excluídos, a fim de garantir clareza e evitar sobrecarregamento visual.

Portos desclassificados na Etapa 3 – Triagem intermediária

A figura abaixo ilustra a relação espacial entre os portos e os locais propostos para parques eólicos offshore (OWF) em todas as regiões. Os portos localizados a distâncias que excedessem significativamente o limite de 400 km do local de OWF mais próximo foram considerados geograficamente incompatíveis com o futuro desenvolvimento eólico offshore. A figura apresenta os resultados da seleção de portos nesta etapa; os portos selecionados são mostrados em verde, enquanto os excluídos são mostrados em vermelho. As legendas são exibidas apenas para os portos excluídos, a fim de garantir clareza e evitar sobrecarregamento visual.



Figura A-2: Resultados da seleção de portos na Etapa 3 e locais propostos para parques eólicos offshore

Especificamente, a figura abaixo mostra as velocidades médias do vento.

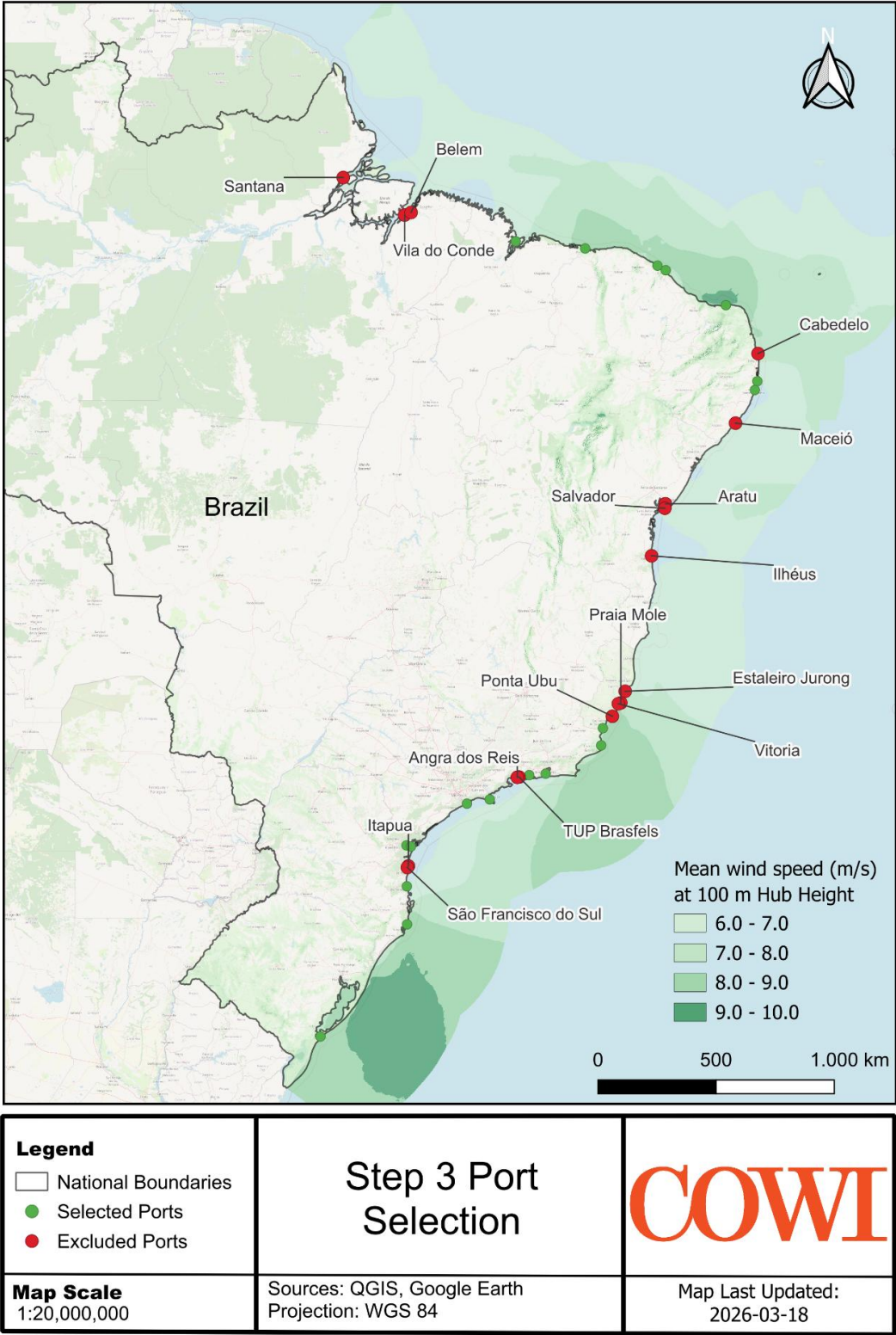


Figura A-3: Resultados da seleção de portos da Etapa 3 representados graficamente com a distribuição da velocidade do vento

A figura abaixo mostra a profundidade da água.

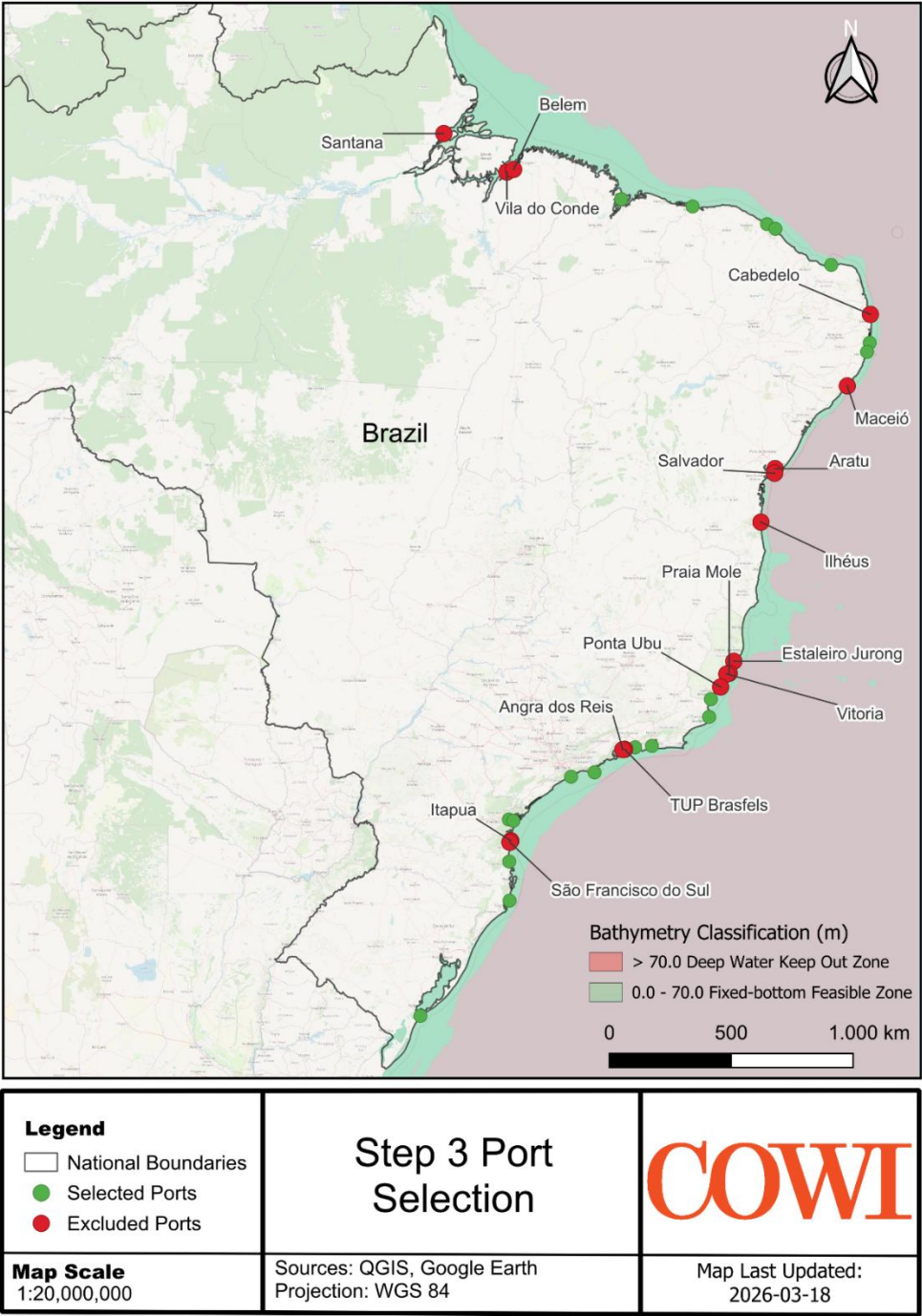


Figura A-4: Resultados da seleção de portos da Etapa 3 representados graficamente com dados batimétricos

Portos descartados na Etapa 4 – Triagem detalhada

A figura abaixo oferece uma visualização clara dessas relações espaciais para todas as três regiões. A figura está dividida em seções regionais, mostrando as regiões planejadas ao lado das zonas tampão de 400 km geradas ao redor de cada porto. As zonas tampão mostradas em verde correspondem aos portos selecionados, enquanto as mostradas em vermelho representam os portos excluídos nesta etapa. As extensões completas das zonas tampão não são exibidas, pois o foco da figura é ilustrar o grau de sobreposição entre o alcance operacional de cada porto e os locais planejados para os parques eólicos offshore.

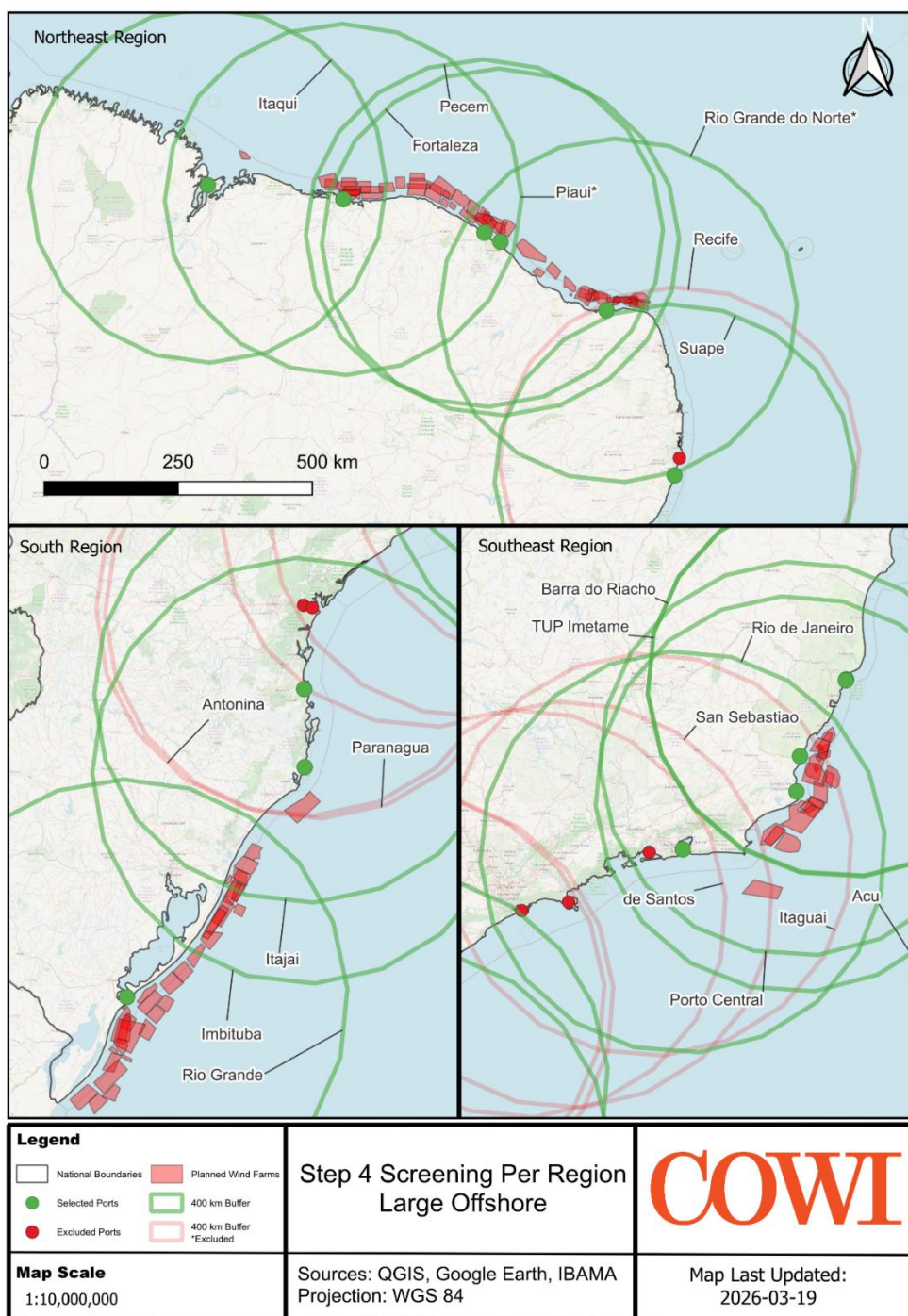


Figura A-5: Triagem por região de acordo com o critério de grandes projetos offshore

A figura abaixo ilustra o mesmo processo, mas para a zona costeira, mostrando os portos selecionados e excluídos juntamente com os locais planejados para parques eólicos offshore e as zonas tampão de distância aplicadas.

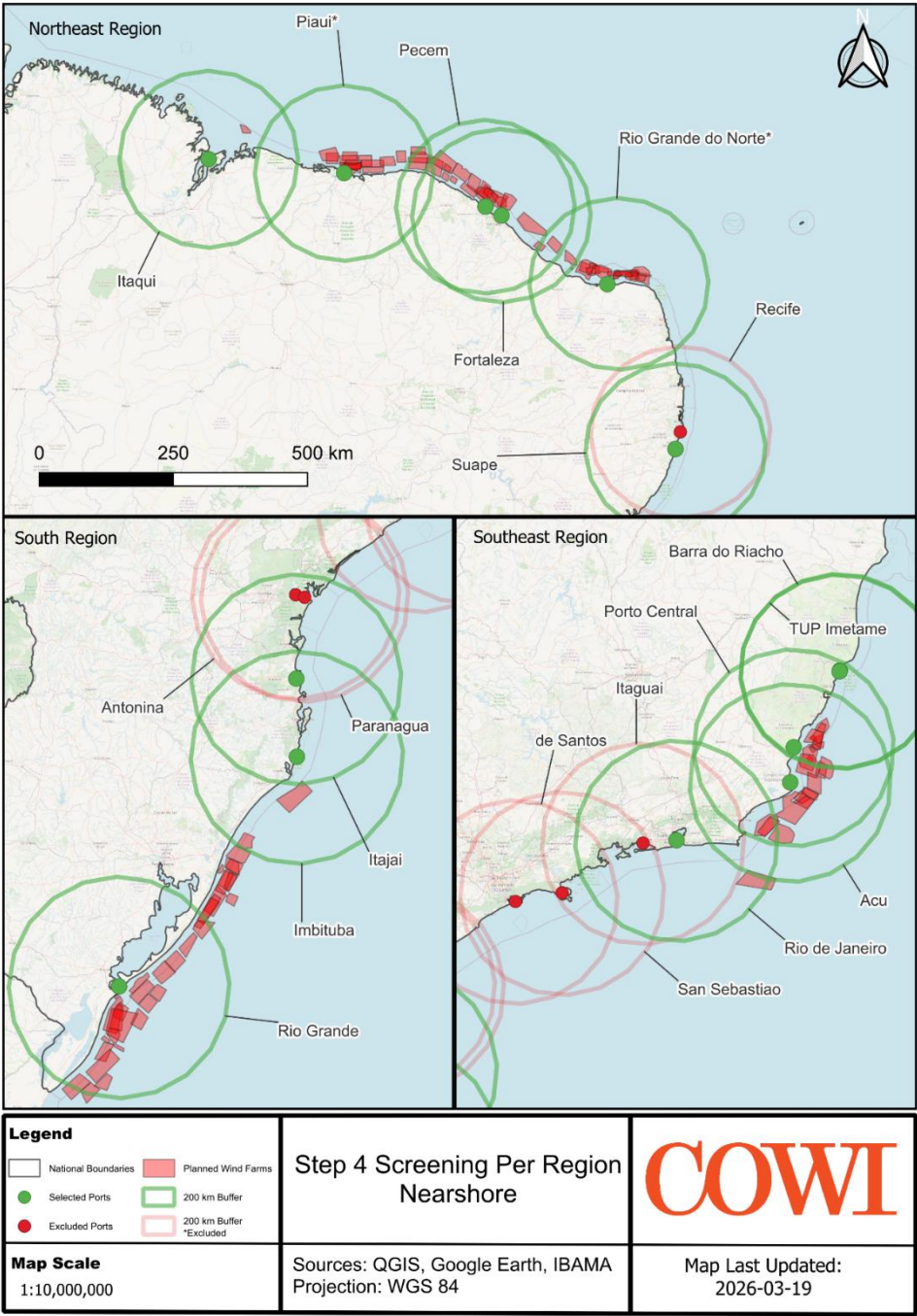


Figura A-6: Triagem por região de acordo com o critério Nearshore

A figura abaixo apresenta o resultado final da triagem refinada, indicando os 12 portos selecionados para avançar para a etapa de seleção final (mostrados em verde) e aqueles excluídos nesta etapa (mostrados em vermelho), juntamente com os locais planejados para parques eólicos offshore em todas as regiões. As legendas são exibidas apenas para os portos excluídos, a fim de garantir clareza e evitar sobrecarregamento visual.

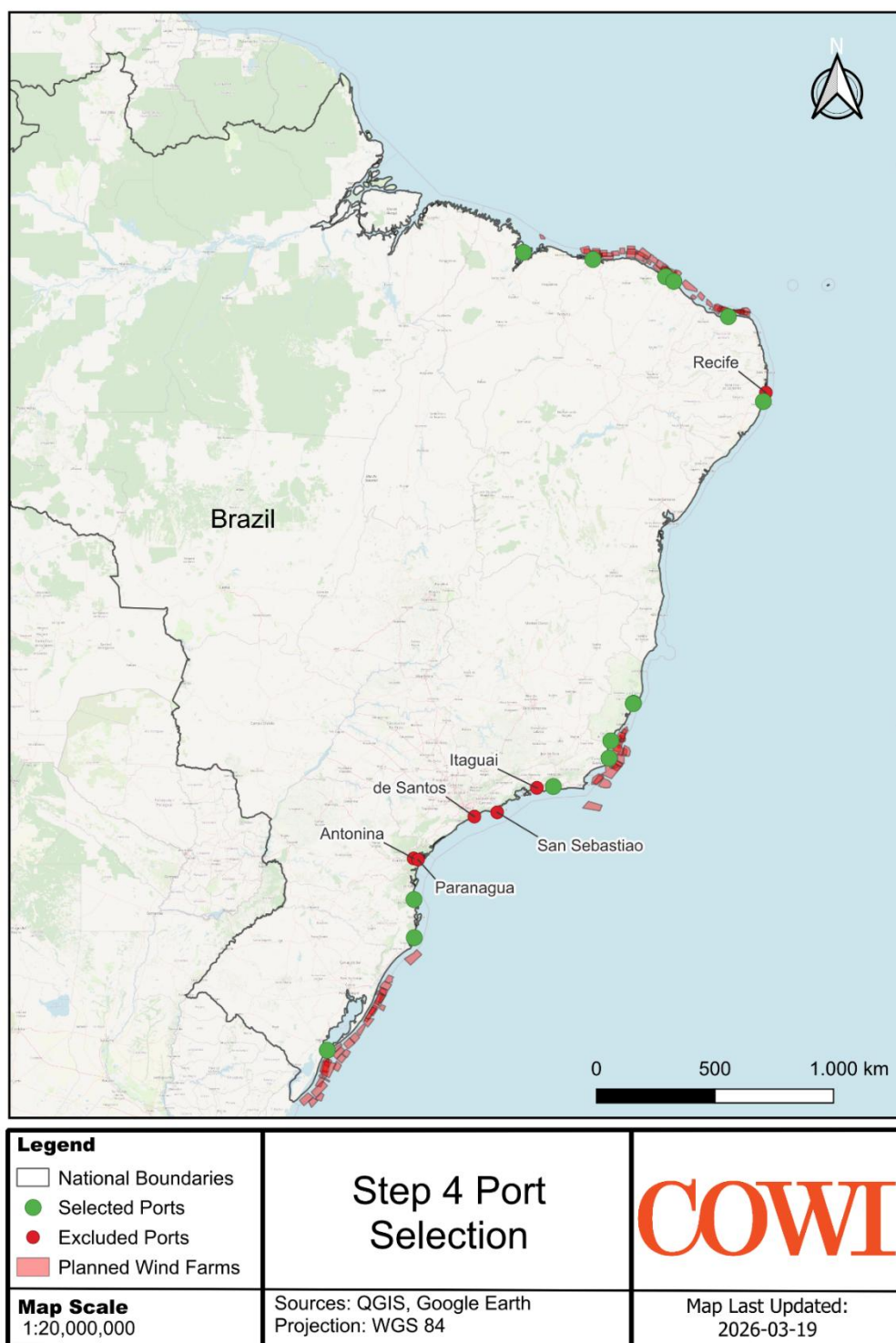


Figura A-7: Resultados da seleção de portos na Etapa 4 e locais propostos para parques eólicos offshore

Anexo 3 – Solicitação de informações

Este Pedido de Informações pode ser preenchido com base no melhor conhecimento e nas informações disponíveis. Quando não houver números exatos, estimativas ou intervalos são aceitáveis. Indique as premissas no campo “Notas”, quando relevante. Documentos de apoio (desenhos, plantas, relatórios) também podem ser anexados, mas não são obrigatórios.

SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Programa de Parceria Energética entre o Brasil e a Dinamarca

Capacidades atuais e perspectivas dos portos brasileiros para projetos de energia eólica offshore

ÍNDICE

<u>1</u>	<u>Contexto da Solicitação de Informações</u>	223
<u>2</u>	<u>Solicitação de Informações</u>	224
<u>2.1</u>	<u>Navegação e acesso de navios</u>	224
<u>2.2</u>	<u>Propriedade, governança e estrutura de investimento do porto</u>	225
<u>2.3</u>	<u>Limites do porto, disponibilidade de terrenos e potencial de desenvolvimento</u>	226
<u>2.4</u>	<u>Estratégia de energia eólica offshore e perspectivas de mercado</u>	227
<u>2.5</u>	<u>Utilização atual das áreas portuárias</u>	228

1. Contexto da RFI

A Dinamarca colabora com o Ministério de Minas e Energia do Brasil por meio de uma parceria bilateral no setor de energia para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore no Brasil. Após a assinatura da lei brasileira de energia eólica offshore em 2025, espera-se que a energia eólica offshore desempenhe um papel cada vez mais importante na transição energética do país. Conforme demonstrado pela experiência internacional, a disponibilidade, a capacidade e o desenvolvimento oportuno da infraestrutura portuária são fatores críticos para o custo, o cronograma e a viabilidade geral dos projetos de energia eólica offshore, especialmente em suas fases iniciais.

Nesse contexto, a Agência Dinamarquesa de Energia (DEA) contratou a COWI para realizar um estudo que avalie a adequação dos portos brasileiros para apoiar o desenvolvimento da energia eólica offshore. O estudo tem como objetivo identificar portos com potencial para atender às atividades de fabricação, agrupamento/pré-montagem, instalação e operações e manutenção (O&M) da energia eólica offshore, bem como avaliar, em um nível geral, as melhorias de

infraestrutura e os marcos regulatórios necessários para viabilizar tais funções. Os resultados apoiarão as autoridades brasileiras, os proprietários de portos e as partes interessadas do setor privado no planejamento de investimentos oportunos e na prevenção de futuros gargalos de infraestrutura.

Esta Solicitação de Informações (Rfi) faz parte de uma fase inicial de triagem e mapeamento do estudo. Com base nas informações fornecidas, vários portos serão pré-selecionados para uma avaliação técnica e estratégica mais detalhada, que poderá incluir diálogos adicionais e, quando relevante, visitas ao local. A Rfi é exploratória e não vinculativa. Seu objetivo é validar e consolidar os dados já coletados, ao mesmo tempo em que reúne insights adicionais das partes interessadas selecionadas. A Rfi contribuirá para estabelecer uma compreensão transparente e consistente das características atuais dos portos, dos planos de desenvolvimento e das perspectivas em relação à energia eólica offshore.

Agradecemos imensamente sua cooperação e contribuição para este processo, que ajudará a orientar futuras recomendações de políticas e o planejamento de investimentos para a energia eólica offshore no Brasil.

2. Solicitação de informações

Autoridade Portuária: Clique ou toque aqui para inserir texto.

Dados de contato do(s) representante(s) do porto que responder(ão) a esta Rfi: Clique ou toque aqui para inserir texto.

Navegação e acesso de navios

Canais de acesso e áreas de manobra

P1: Forneça as seguintes características do canal de aproximação, do canal de entrada e da bacia de manobra do porto.

Elemento	Profundidade (m)	Largura (m)	Observações
Canal de aproximação			
Canal de entrada			
Bacia de manobra			

P2: Indique as dimensões máximas permitidas para as embarcações no porto:

Elemento	Comprimento total (Loa) [m]	Largura (B) [m]	Calado com carga (D) [m]
Dimensões da embarcação			

Estrutura de Propriedade, Governança e Investimento do Porto

Estrutura de propriedade e governança

P3: Descreva a estrutura de propriedade e governança do porto:

- ☐ Porto organizado administrado pela autoridade portuária (modelo de proprietário)
- ☐ Instalação portuária privada (TUP – *Terminal de Uso Privado*)
- ☐ Outro (por exemplo, propriedade compartilhada/modelos híbridos) – especifique: Clique ou toque aqui para inserir texto.

P4: O porto está localizado dentro de uma zona especial de desenvolvimento, uma Zona de Processamento de Exportações (ZPE) ou qualquer área sujeita a um regime regulatório ou jurídico específico?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Modelo de Financiamento de Infraestrutura

P5: Como, especificamente para este porto, os novos empreendimentos de infraestrutura portuária são normalmente financiados?

- ☐ Financiamento público
- ☐ Financiamento privado
- ☐ Misto (público-privado)
- ☐ Outro (especifique): Clique ou toque aqui para inserir texto.

Financiamento para o desenvolvimento de longo prazo

P6: Os planos de desenvolvimento portuário de longo prazo já foram aprovados?

- ☐ Sim
- ☐ Não

Se sim, esses planos estão total ou parcialmente financiados? Explique melhor.

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Perspectiva do investimento privado

P7: Qual é a posição do porto em relação aos investimentos privados em instalações destinadas ao setor de energia eólica offshore (OW) (por exemplo, cais, áreas de manobra, bases de operação e manutenção)?

- ☐ Totalmente a favor

☐ A favor

☐ Neutro

☐ Contra

Por favor, explique melhor.

Clique ou toque aqui para inserir o texto.

Limites do porto, disponibilidade de terrenos e potencial de desenvolvimento

Limites e layout do porto

P8: Forneça (por exemplo, um link ou arquivo anexado a esta Rfl) qualquer mapa atualizado disponível do layout do porto ou do plano diretor, indicando os terminais existentes, as áreas arrendadas e as zonas de expansão em potencial. Mapas preliminares ou indicativos são aceitáveis.

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Disponibilidade de terrenos

P9: Existem áreas que ainda não foram arrendadas?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, quais?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

P10: Existem áreas cujos contratos de locação vencerão nos próximos anos e não serão renovados?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, quais?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Áreas de desenvolvimento futuro

P11: Existem novas áreas de desenvolvimento disponíveis?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, quais?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

P11a: Essas áreas já foram destinadas a fins específicos?

☐ Sim

☐ Não

Se não, a energia eólica offshore seria relevante para o futuro deste porto?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Estratégia e Perspectivas de Mercado da Energia Eólica Offshore

Análise de Viabilidade da Energia Eólica Offshore

P12: O porto vê um papel futuro no setor de energia eólica offshore?

☐ Sim

☐ Não

☐ Em análise/fase exploratória

Se sim/em fase exploratória, indique as atividades aplicáveis:

☐ Instalação (por exemplo, organização, carregamento)

☐ Operações e Manutenção (O&M)

☐ Ambos

Sinergias com as atividades portuárias existentes

P13: As atividades eólicas offshore podem ser integradas ou criar sinergias com os setores já existentes no porto?

☐ Sim

☐ Não

Descreva como (por exemplo, infraestrutura compartilhada, competências, logística).

Clique ou toque aqui para inserir texto.

P14: Existem atividades ou mercados atualmente em declínio que poderiam, potencialmente, liberar espaço para usos relacionados à energia eólica offshore?

☐ Sim

☐ Não

Se sim, especifique.

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Utilização atual das áreas portuárias

Berços principais

P15: Indique as características dos berços principais. Adicione as linhas relevantes.

Nº do berço	Nome ou identificador do berço	Tipo de estrutura (por exemplo, parede de gravidade, molhe, parede de estacas-pranchas ancoradas)	Utilização atual dos berços e terminais (por exemplo, granéis, contêineres, carga geral, Ro-Ro, etc.)	Comprimento do cais (m)	Profundidade ou calado máximo permitido (m)	Carga vertical de projeto permitida (t/m²)
1						
2						
3						
4						

Utilização dos berços

P16: Os berços são compartilhados ou exclusivos para operadores específicos?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

P17: Existem restrições operacionais que afetam a disponibilidade para a construção de parques eólicos offshore?

Clique ou toque aqui para inserir texto.

Condições geotécnicas

P18: Descreva as condições geotécnicas predominantes no cais (ou forneça relatórios geotécnicos, se disponíveis), incluindo tipo de solo, capacidade de suporte (se conhecida), quaisquer restrições conhecidas ou medidas de melhoria.

Clique ou toque aqui para inserir texto.