Gestão:

Reunião de Acompanhamento
e Avaliação - RAA 2026

Gêmeo Digital para Caracterização Prognóstica e Avaliação de Risco Dinâmico Offshore

prh anp 04/UFRJ

Tambasco, A. P. [1]; Assad, L. P. [2];
[1]Bolsista do PRH 04/UFRJ, Engenharia Naval e Oceânica, Rio de janeiro – RJ. E-mail: annapaulatambasco@gmail.com
[2]Docente do Laboratório de Métodos Computacionais em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de janeiro – RJ. E-mail: lpaulo@lamce.coppe.ufrj.br

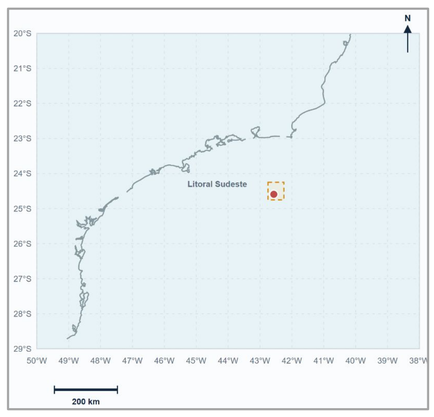
Introdução

Decisões offshore requerem integrar condições meteoceanográficas, estado operacional do FPSO e os limites e procedimentos definidos para a operação. Quando essas informações estão distribuídas entre fontes ou telas distintas, reuni-las e entender como se relacionam pode exigir mais esforço do operador e dificultar uma leitura integrada do cenário [1].

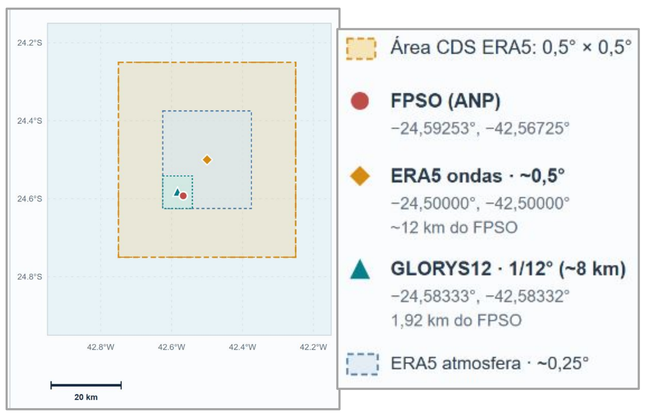
Objetivo

Desenvolver um gêmeo digital do **FPSO Almirante Barroso**[2,3]. que integre dados meteoceanográficos, leituras de sensores da unidade e registros operacionais a modelos físicos validados, para **caracterizar e prognosticar cenários** relevantes às operações e **apoiar a avaliação de risco e a tomada de decisão** do operador.

Contexto Regional



Ampliação Local



Metodologia

1 DADOS, QUALIDADE E INDICADORES

ERA5 horário: ondas (H_s, T_p, direção) e vento (u_{10}, v_{10}) · CAPE em extração separada
Pressão complementar · rajada: extração CDS; série Open-Meteo em verificação
GLORYS12: correntes modeladas (u_o, v_o) por profundidade · médias diárias

Auditar UTC, unidades, grade, cobertura e lacunas; preservar a cadência, sem interpolar correntes diárias.

Ondas

$$H_{s,total} \approx \sqrt{(H_{s,sw}^2 + H_{s,ws}^2)}$$

sw = swell · ws = wind-sea
Somar apenas partições distintas.
ERA5 já fornece H_s combinado.

Vento a 10 m

$$V_{10} = \sqrt{(u_{10}^2 + v_{10}^2)}$$

u_{10}/v_{10}: componentes a 10 m.
V_{10}: velocidade calculada.

Corrente

$$U_c = \sqrt{(\bar{u}_o^2 + \bar{v}_o^2)}$$

Módulo da corrente média diária.
Calculado por profundidade.

Proxy direcional por operação

$$H_{s,proxy,j} = H_{s,total}\,[1 + \beta_j\,|\sin(\pi\Delta\theta/180°)|]$$

$\Delta\theta = \min(|\theta - \psi|, 360° - |\theta - \psi|)$; θ: direção do swell · ψ: aproamento assumido.
β_j: fator de cenário. Proxy heurístico; não é RAO nem resposta física do FPSO.

Mar cruzado (quando configurado): $R_x = \min(\Delta\theta_{sw-ws}/60°, H_{s,wind-sea}/1\ m)$
$\Delta\theta_{sw-ws}$: separação angular mínima (0–180°). Proxy de cenário, não limite validado.

2 REGRA DETERMINÍSTICA POR OPERAÇÃO

K_j reúne os critérios ativos: onda, vento, corrente, CAPE e mar cruzado, quando aplicável.

$$r_{j,k} = x_k / L_{j,k} \qquad U_j = \max_{k \in K_j} r_{j,k} \qquad k_j^* = \arg\max_{k \in K_j} r_{j,k}$$

x_k: valor de entrada · $L_{j,k}$: limite positivo configurado · $r_{j,k}$: razão adimensional.

$y_j = 1$ se $U_j \geq 1$; caso contrário, 0 · k_j^* é o fator limitante.

3 IA · RANDOM FOREST (FLORESTA ALEATÓRIA)

$$s_j(x) = 100 \cdot \hat{P}_{RF,j}(y_j = 1 \mid x)$$

400 árvores · mínimo 3 amostras por folha · classes ponderadas

x: tabela histórica diária · 48 atributos meteoceanográficos, operacionais e temporais; parte derivada/fallback.
Alvo y_j: rótulo sintético · s_j: escore desse rótulo, não probabilidade de incidente · classes raras: fallback por regra.

Avaliação temporal

Treino · 2015–2022 → **Teste temporal · 2023–2025**

Walk-forward complementar: 5 divisões cronológicas; folds elegíveis.
Métricas avaliam rótulos de regra, não incidentes observados.

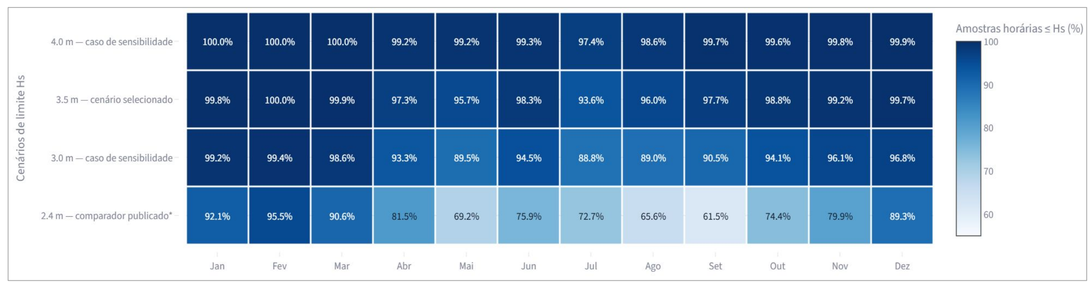
MÓDULOS DE APOIO E CONTEXTO

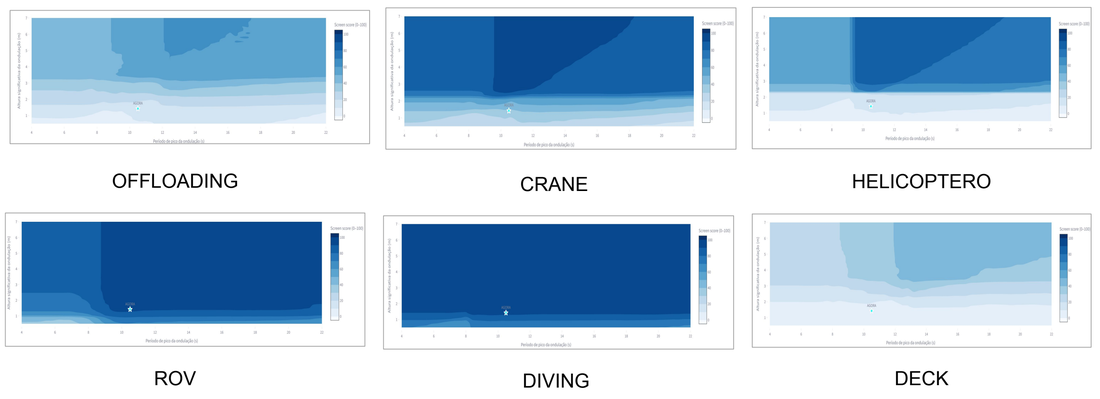
Visão executiva · Digital Twin/proxies · integridade submarina · logística e operações
Climatologia · ESG · análise financeira. Contextualizam resultados;

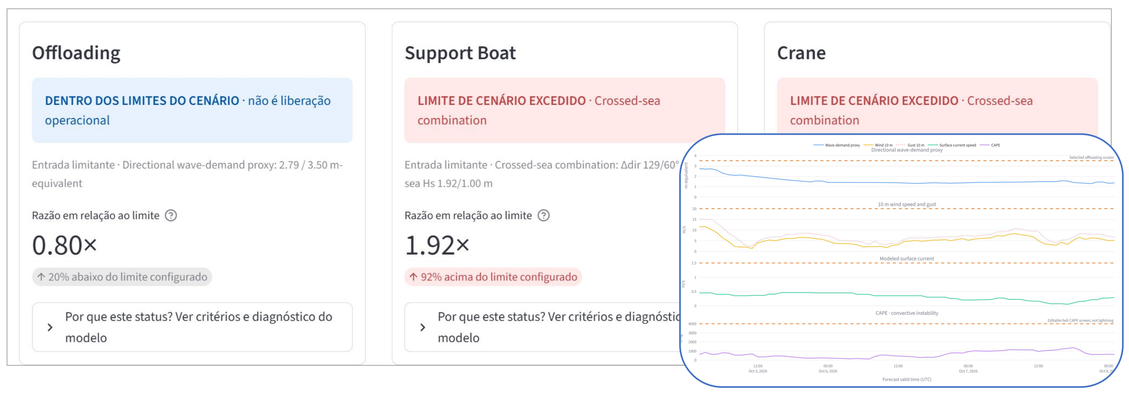
Resultados

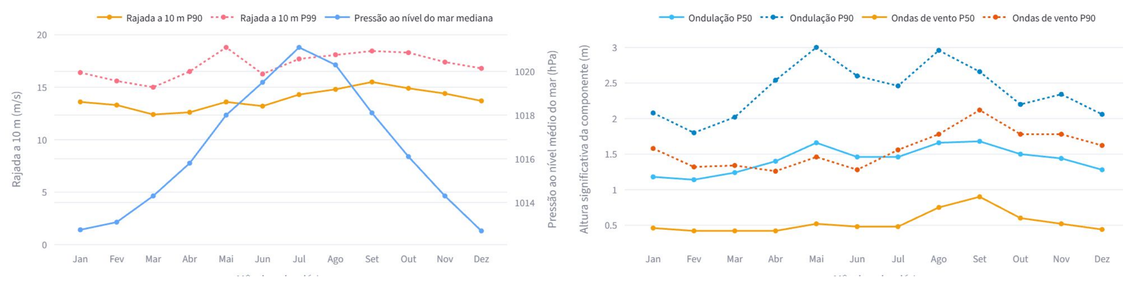
(1) ***ERA5 horário***; **96.432 registros** (2015–2025); *(2)* ***GLORYS12 diário***; **4.192 datas** (até junho de 2026).
O protótipo identifica o critério limitante e compara cada variável ambiental com o limite configurado.











Conclusão

Contribuição: O protótipo cruza dados ambientais e critérios técnicos para identificar limites operacionais.
Estado Atual: Foco na análise ambiental. A avaliação do risco real carece de telemetria do FPSO.
Evolução: Integrar dados de campo e modelos físicos para consolidar o Gémeo Digital.

Referências

[1] NORTH SEA OFFSHORE AUTHORITIES FORUM (NSOAF). Human and Organisational Factors in Well Control: Multi-National Audit. 2012–2013
[2] AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Plataformas e instalações marítimas em operação: dados abertos. Atualizado em 3 set. 2026. Base de dados. Acesso em: 4 out. 2026.
[3] PETROBRAS. FPSO Almirante Barroso começa a produzir no campo de Búzios. Agência Petrobras, 31 maio 2023.
[4] HOLTHUIJSEN, L. H. Waves in Oceanic and Coastal Waters. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. DOI: [10.1017/CBO9780511618536](https://doi.org/10.1017/CBO9780511618536).
[5] KOMEN, G. J. et al. Dynamics and Modelling of Ocean Waves. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
[6] BREIMAN, L. Random forests. Machine Learning, v. 45, p. 5–32, 2001. DOI: [10.1023/A:1010933404324](https://doi.org/10.1023/A:1010933404324).
[7] HERSBACH, H. et al. The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 146, p. 1999–2049, 2020. DOI: [10.1002/qj.3803](https://doi.org/10.1002/qj.3803).
[8] LELLOUCHE, J.-M. et al. The Copernicus Global 1/12° Oceanic and Sea Ice GLORYS12 Reanalysis. Frontiers in Earth Science, v. 9, art. 698876, 2021. DOI: [10.3389/feart.2021.698876](https://doi.org/10.3389/feart.2021.698876).