

**PRÊMIO ANTAQ 2022**  
**CATEGORIA: ARTIGO TÉCNICO-CIENTÍFICO**  
**Tema 03 – Estratégia, Conhecimento e Inovação**

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA VERIFICAÇÃO DE EXTENSÃO DE AVARIAS EM NAVIOS PETROLEIROS MEDIANTE ENCALHE OU COLISÃO: UMA IMPORTANTE FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE RISCOS AMBIENTAIS**

## **RESUMO**

Este trabalho relata como foi aplicado o método de modelagem computacional na verificação de extensão de avarias em navio petroleiro, no advento de encalhe ou colisão durante entrada ou saída do canal de acesso ao Porto Sudeste, localizado na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. Essa metodologia foi utilizada como importante e inovadora ferramenta de auxílio na viabilização das operações de *Ship to Ship* no porto supracitado. Com conhecimento dos dados tridimensionais da batimetria do canal e das áreas críticas de possível impacto entre casco e leito marinho em cenários de falha de máquina ou leme ao longo da navegação no canal de acesso, com o uso de um navio modelo foi realizada análise estrutural dinâmica através do método de elementos finitos, tendo como resultado a extensão de danos estruturais e consequente derramamento de óleo, se aplicável. A partir dos resultados obtidos, foi possível indicar ao corpo de Praticagem do Rio de Janeiro e autoridades marítima e portuária, que mesmo os pontos previamente apontados como críticos através de simulação de manobras em *real time*, a extensão de avaria não apresentava risco real de vazamento de óleo. Além disso, parâmetros de velocidade de entrada e saída destes navios petroleiros do canal puderam ser validados a partir da extensão de avaria prevista para cada condição. Logo, esta metodologia foi crucial para viabilização das atividades de *Ship to Ship* com navios atracados no Porto Sudeste, em curso desde julho deste ano.

**Palavras-chave:** Modelagem Computacional; Navios Petroleiros; Operação *Ship to Ship*; Extensão de Avarias; Análise de Riscos.

## **1 INTRODUÇÃO**

A realização Operações de *Ship to Ship* em território brasileiro para exportação de óleo cru, vindo do pré-sal possui franca tendência de crescimento, visto que o mercado conta com um o sistema logístico insuficiente para atender a necessidade para escoamento desta produção, onde demanda crescente busca por locais com maiores janelas operacionais e condições ambientais favoráveis com baixo impacto dos fatores meteoceanográficos que garantam a segurança da navegação e

operação. Neste contexto de condições ótimas para esta atividade, o Porto Sudeste localizado na Baía de Sepetiba – RJ, reunindo características naturais de águas abrigadas e profundidade adequada para tráfego de navios petroleiros, realizou um robusto portfólio de estudos de engenharia, simulações e análises de risco para garantir a segurança das operações *Ship to Ship* em seus berços de atracação, onde podemos citar o Estudo Estrutural dos Berços de Atracação, Simulação de Manobras em *real-time* com navios-tanque, Análise de risco para cenários operacionais da transferência e manobras no canal de acesso e bacia de evolução, Estudo e simulação de amarrações entre navios e ao cais, bem como os estudos exigidos pelos órgãos regulamentadores da atividade, preconizados pelas Resolução ANP 811, de 16 de março de 2020, NORMAM 8/DPC, Instrução Normativa IBAMA 16, de 26 de agosto de 2013, com total conformidade às recomendações internacionais da indústria (*Ship to ship Transfer Guide*, MARPOL, ISGOTT, SOLAS, COLREG). Além disso, estudo tridimensional da batimetria do canal de acesso serviu de suporte para a modelagem do leito marinho e viabilização do projeto.

Contudo, visando contribuir de forma qualitativa ao processo de análise de risco ambiental, uma nova metodologia complementar foi adotada nesta etapa de viabilidade: Análise de Extensão de avarias em navios petroleiros no advento de colisão ou encalhe através de análise estrutural dinâmica utilizando *software* de elementos finitos. A idéia principal nesta aplicação visava responder de forma prática a seguinte pergunta: “O navio petroleiro durante entrada ou saída do canal de acesso à Baía de Sepetiba, no advento de uma colisão ou encalhe causaria impacto ambiental”?

Tendo plena confiança de que a resposta ao questionamento supracitado daria enorme ganho qualitativo na tomada de decisão para o estabelecimento dos parâmetros operacionais de manobras com navios-tanque, permitindo a viabilização de operações seguras na Baía de Sepetiba, a análise computacional trouxe assertividade aos resultados de simulações de manobra e análise de risco previamente realizadas.

Logo, tendo os dados do relevo do fundo ao longo do canal de acesso, os pontos críticos estudados na análise de risco das manobras indicados pela simulação de manobras, em face à geometria, estrutura e características do navio modelo da classe suezmax, petroleiro típico, considerando cenários de falha de leme ou

máquina, foi realizada análise computacional combinando o casco do navio em movimento (análise dinâmica) com geometria do leito marinho, gerando como resultado o corpo final do casco avariado.

Entende-se portanto, que a iniciativa é pioneira e inovadora no Brasil, complementando os resultados de simulação de manobras, com a verificação estrutural não linear através de *software* de elementos finitos, ainda não aplicada na composição de estudos de viabilidade em canais de acesso no país.

## **2 METODOLOGIA**

Através de simulação numérica (método de elementos finitos para análise não linear), a colisão do navio, dada através do costado (região de tanques de carga) ou da proa, dependendo do ângulo de incidência e da geometria do leito marinho, combinados com a velocidade aplicada pela embarcação, são obtidas as extensões de avaria.

De maneira conservadora, o corpo do leito marinho foi considerado como corpo rígido (indeformável).

Os diferentes cenários de colisão e/ou encalhe foram indicados pelos estudos preliminares de simulação de manobras e análise de risco, assim como as informações de batimetria das regiões de interesse. Dito isto, a extensão de avarias mediante colisão do casco é avaliada através da penetração do relevo marinho no casco do navio no conjunto *versus* energia cinética, onde toda energia cinética é transformada em energia de deformação do casco, durante a colisão.

Na simulação numérica considera-se o problema como puramente estrutural, onde são discretizados por malha de elementos finitos usando o programa ANSYS/LS-DYNA para análise transiente explícita com não linearidades geométrica e de material. ANSYS/LSDYNA é um programa de análise computacional implícito e explícito usado para avaliar a resposta dinâmica de corpos, que é caracterizado como um evento de curta duração, os métodos explícitos de integração das equações da dinâmica são preferidos por se tornarem computacionalmente mais eficientes do que os implícitos.

A metodologia de análise contempla as seguintes etapas:

- a) Desenho bidimensional do navio modelo e modelagem do relevo marinho dos pontos críticos no programa;
- b) Análise dinâmica de colisões entre modelo de casco e indentador (leito marinho) com ângulo de aproamento e velocidade indicadas pelos resultados da simulação de manobras;
- c) Verificação de resultados de extensão de avaria no casco (energia cinética x energia de deformação);

Conforme mencionado, o estudo teve como parâmetros alguns fatores visando a contingência e segurança dos resultados:

1. Elementos estruturais secundários (borboletas, reforçadores locais, entre outros) não foram incluídos no modelo. Sendo assim, a rigidez considerada é menor que a real, de forma conservadora.
2. A análise de colisões considera toda energia cinética sendo transformada em energia de deformação até a inércia da embarcação. Na prática, forças externas são aplicadas durante advento de colisão tais como: atuação de rebocadores; uso da máquina e leme do navio (caso motor ainda operante). Desta forma, na prática, a extensão de avarias seria menor que a modelada, em face das ações externas.
3. Leito marinho é aplicado como um corpo rígido, desconsiderando a morfologia do fundo, que na realidade terá o impacto atenuado se composto por areia, lama ou cascalho. Na prática, parte da energia cinética do corpo é dissipada na deformação do indentador (leito marinho), o que significa que na condição real, a extensão de avaria é menor que a modelada.

### **3 DESENVOLVIMENTO**

Este tópico apresenta o desenvolvimento da metodologia proposta, bem como parâmetros adotados.

#### **3.1 Modelo Estrutural - Navio**

O navio modelo para a simulação numérica foi um navio da classe Suezmax, de casco duplo, cujas características principais estão descritas na tabela a seguir:

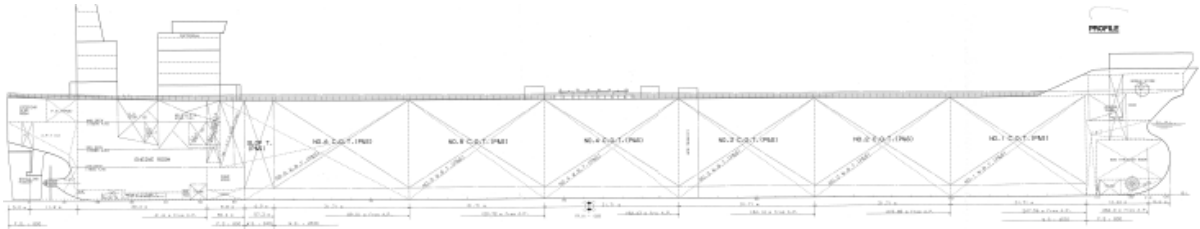
Tabela 1 — Características principais do navio.

CARACTERÍSTICAS	Valores
$L_{PP}$ (m)	277,40
Boca(m)	46,00
Pontal(m)	23,60
Calado Máximo(m)	17,14
Peso Leve (Ton)	25 370
Deslocamento (Ton)	173 481

Fonte: Plano de Capacidades do Navion Stavanger

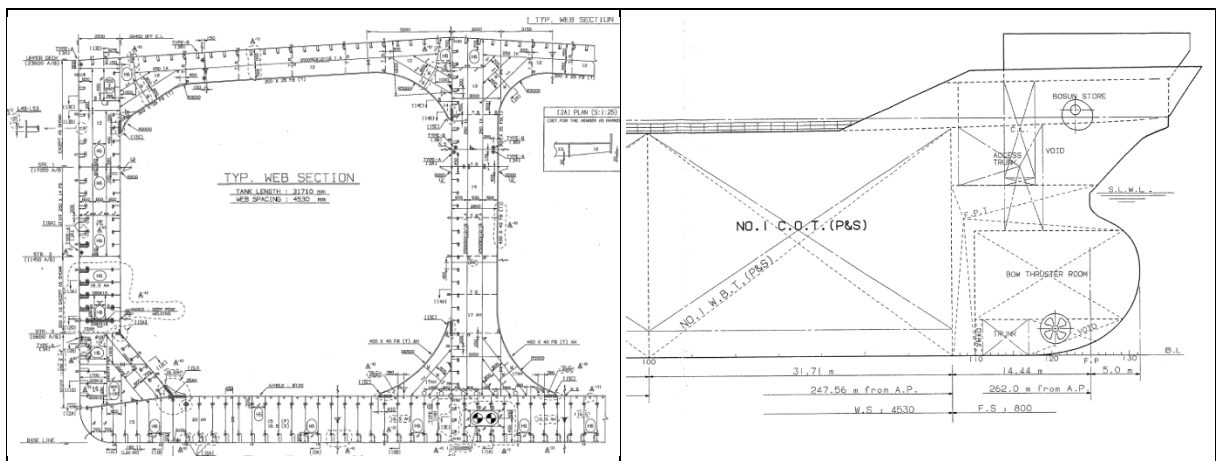
A seguir são apresentadas: as vistas longitudinais; seção mestra; e corte de proa do navio aplicado como modelo.

Figura 1 — Vista Lateral – Navio Típico.



Fonte: Plano de Capacidades do Navion Stavanger

Figura 2 — Seção transversal e corte de proa, respectivamente – Navio Típico.



Fonte: Plano de Expansão do Chapeamento do Navion Stavanger

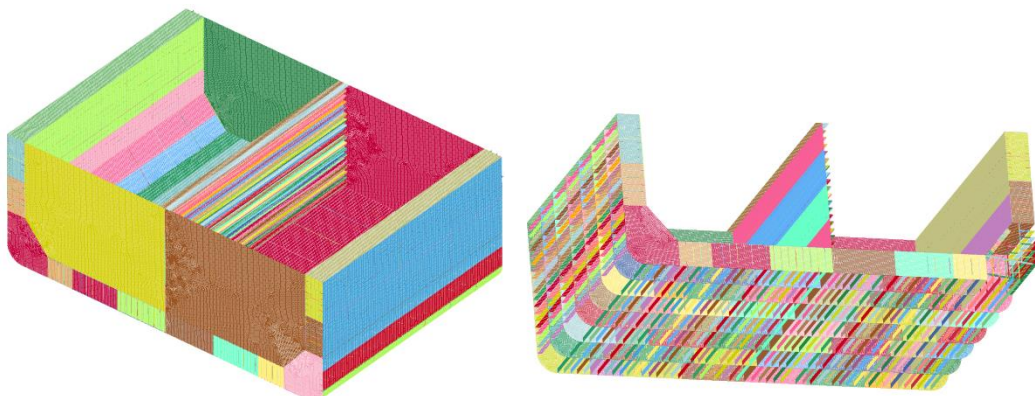
No modelo utilizado nas análises foram representadas apenas as estruturas principais da embarcação, como: cavernas; chapeamentos transversais e longitudinais; e reforçadores longitudinais. Os elementos secundários reforçadores, tais como borboletas e reforços locais não foram modelados, para manter o conservadorismo da análise.

### 3.2 Modelo Numérico - Navio

O modelo numérico empregado nas análises foi construído com elementos tipo casca. Nas análises foram considerados o coeficiente de atrito igual a 0,3; e o tipo de contato o ANSYS/LS-DYNA. O tamanho do elemento em casos de colisão e encalhe, normalmente é considerado razoável de 5 a 10 vezes a espessura da chapa na região de choque. Como não é viável compor uma malha tão fina, para avaliação da fratura pelo elevado custo computacional, foram utilizados elementos com dimensões de 100 mm na área do costado e da proa.

O modelo gerado possui uma malha de elementos distribuída de forma a apresentar boa precisão nos resultados, exigindo o mínimo da capacidade computacional empregada, ressaltando-se a memória disponível e menor tempo para o cálculo dos resultados. Cada análise computacional dura em média de 24 a 48 horas, para cada cenário (longitudinal ou transversal).

Figura 3 — Modelo numérico elaborado para porão/corpo paralelo do navio.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Figura 4 — Modelo numérico elaborado para porão/corpo paralelo do navio.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Para o modelo do navio além da malha de elementos finitos definindo a geometria do porão e proa, ainda é necessário incluir dados de inércia da embarcação, massa total considerando massa adicional, centro de gravidade e a velocidade inicial para simular o impacto contra o fundo marinho. A condição de carga considerada para todas as análises ora baseados de acordo com o documento Folheto de Trim e Estabilidade do navio modelo, com um calado de 17,14 m, massa de 173.481 ton, e centro de gravidade vertical de 13,71 m.

O cálculo de momento de inércia do navio foi realizado pela formulação aproximada dada por *Bhattacharyya*.

Por simplicidade os coeficientes da massa adicionada são dados da seguinte forma: a força hidrodinâmica no movimento em *surge* é muito pequena quando comparada ao do movimento em *sway*. Para nosso caso foram assumidos os valores de 0,05 na direção *surge* e 0,40 na direção *sway*. A dinâmica do navio inclui apenas os movimentos no plano horizontal, ou seja, 3 graus de liberdade no plano (*Surge*, *Sway* e *Yaw*), sendo os efeitos de *Pitch*, *Heave* e *Roll* desconsiderados devido às suas pequenas influências. Tendo em vista a conclusão de outros autores, neste trabalho optou-se pelo método desacoplado, somente com movimento no plano.

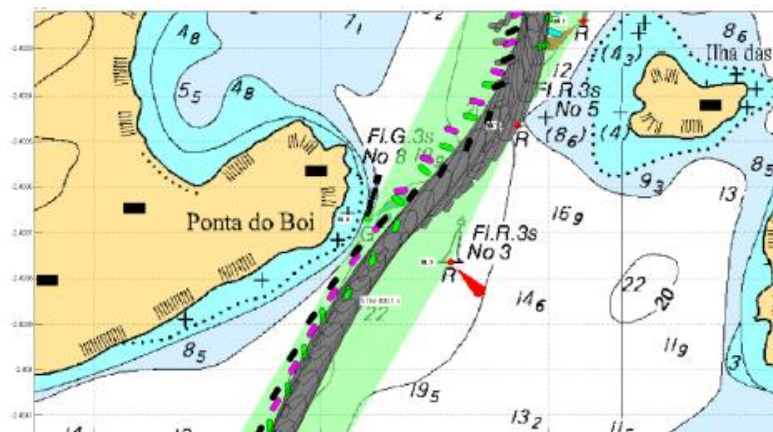
### **3.3 Modelo do Fundo Marinho (indentador)**

A geometria do leito Marinho foi obtida a partir da batimetria do canal. Os pontos XYZ foram transformados em superfície, uma vez que para cada área avaliada a topologia do leito foi confirmada comparada ao referencial histórico na base de dados de manobras do Porto Sudeste, disponível desde 2015.

Esta geometria idealiza um indentador baseado na superfície no fundo do mar. Foram considerados 4 indentadores (locais de possível avaria) considerados pontos críticos pela simulação de manobras e, por isso, objetos de modelagem computacional: Ponta do Boi; Laje Preta; Ilha das Cabras; e região da Boia nº12.

Abaixo vistas de referência da análise de manobras realizada anteriormente ao estudo objeto deste artigo.

Figura 5 — Exemplo Simulador de manobras realizado próximo a Ponta do Boi (Carta Náutica).



Fonte: Relatório de simulação de manobras em *real time* (2021)

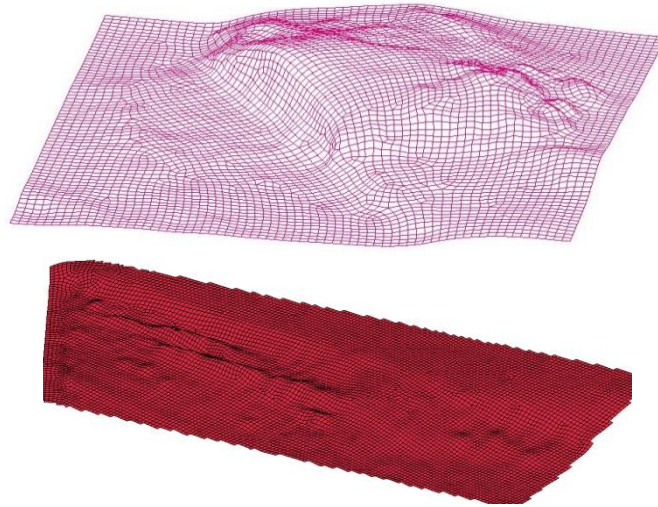
Dito isto, as figuras a seguir demonstram o modelo computacional realizado para os pontos de interesse.

Figura 6 — Ponta do Boi e Laje Preta, respectivamente.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Figura 7 — Ilha das Cabras e Boia 12, respectivamente.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

### 3.4 Cenários Considerados – Navio x Indentador

As informações e possíveis cenários de falha com colisão ou encalhe do navio modelo com o fundo marinho, foram identificados no Estudo de Análise de Risco de Manobras LabRisc, baseado na Simulação de Manobras em *real time*, apresentados na tabela a seguir.

Tabela 2 — Cenários de falha com colisão ou encalhe.

Cenário	Indentador	Velocidade (nós)	Aproamento (graus)	Área atingida
1	Laje Preta	6.15	15	Fundo e Costado
2	Ponta do Boi	5,6	15	Fundo e Costado
3	Ponta do Boi	3,0	45	Proa
4	Ponta do Boi	5,6	45	Proa
5	Ponta do Boi	6.0	45	Proa
6	Ponta do Boi	6,5	45	Proa
7	Ilha das Cabras	5,6	15	Fundo e Costado
8	Ilha das Cabras	5,6	45	Proa
9	Boia 12	4,0	30	Proa

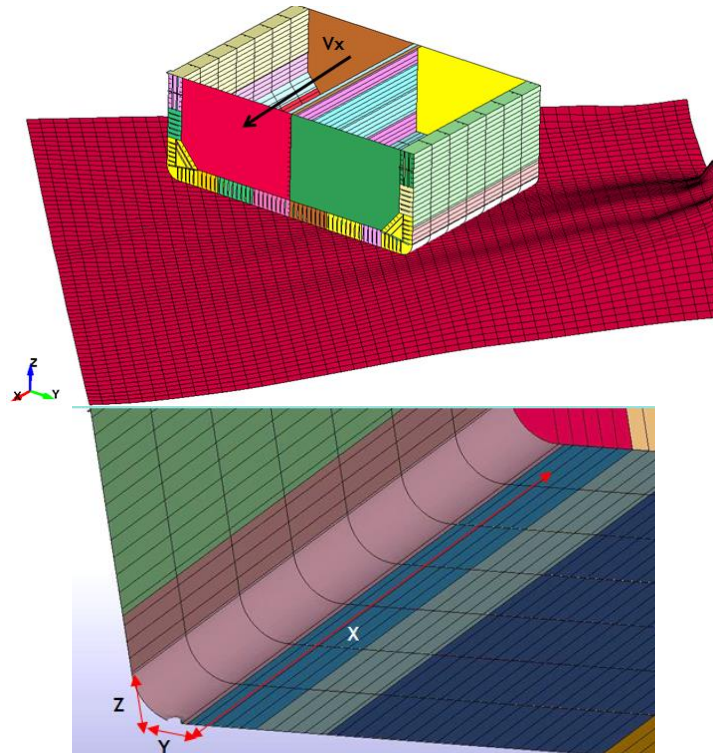
## **4 RESULTADOS**

As respostas para diferentes velocidades são apresentadas através da curva energia cinética versus a extensão do dano. A energia cinética no desenvolvimento deste impacto é dissipada pela deformação estrutural. A extensão de dano, que é a penetração do fundo marinho sob o casco do navio é apresentada através de valores nas direções X (direção do comprimento), Y (direção da boca) e Z (direção do pontal). Nos cenários de falha com colisão no ângulo de 15 graus de aproamento do navio, em relação ao ângulo de rumo do canal, resultou em danos ao fundo e costado duplo do navio. Enquanto no ângulo de aproamento de 45 graus foi registrado impacto da região da proa com o fundo marinho, mesmo com alguma variação de velocidade para os diferentes cenários. Em ambos os casos, a extensão de danos foi concentrada apenas na região dos tanques de lastro e pique tanque de vante, sem qualquer impacto ao chapeamento dos tanques de carga para as velocidades simuladas.

### **4.1 Lage Preta – Ângulo de aproamento 15 graus - Velocidade 6,15 nós**

Os resultados com um ângulo de aproamento de 15 graus e velocidade de  $V_x = 6,15$  nós não apresentou dano e falha significativos entre o fundo e costado, tendo atingido apenas o tanque de lastro, sem qualquer aproximação de risco do chapeamento do tanque de carga.

Figura 8 — Resultado de avaria – Laje Preta – 15 graus.



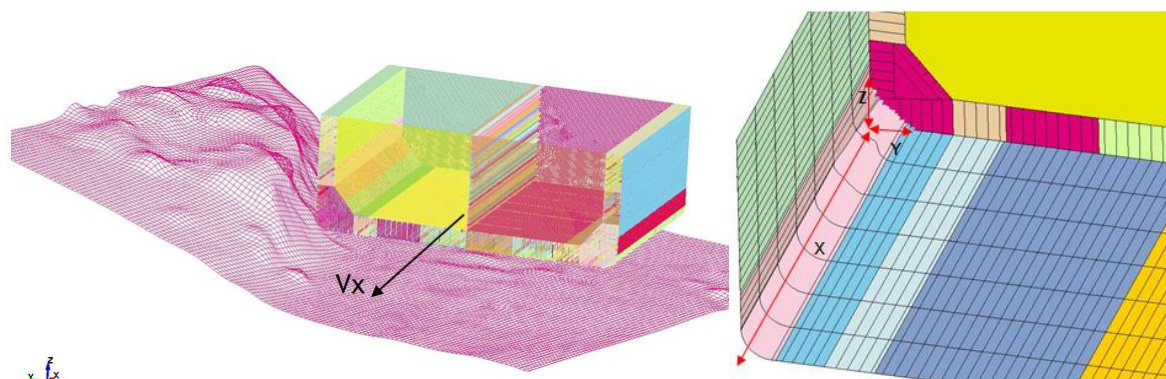
Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

X = 31,7 m (Longitudinal), Y = 0,5 m (Transversal), Z = 0,5 m (Altura)

#### 4.2 Ponta do Boi – Ângulo de aproamento 15 graus - Velocidade 5,6 knots

Apresentou deformação da chapa do bojo (fundo) e falha de elementos estruturais internos do tanque de lastro. A extensão de dano longitudinal (X) foi de 31,7 m, enquanto a extensão do dano na seção transversal foi de Y = 3,6 m e Z = 3,8 m (Figura 9). Neste cenário de encalhe, o dano atingiu apenas ao tanque de lastro do duplo fundo, portanto sem deformação ao chapeamento do tanque de carga.

Figura 9 — Resultado de avaria – Ponta do Boi – 15 graus.

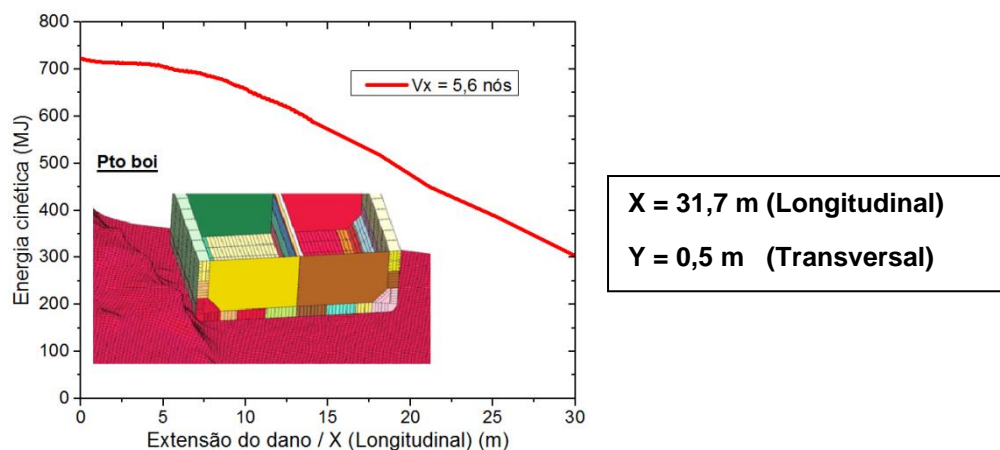


Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

X = 31,7 m (Longitudinal), Y = 3,60 m (Transversal), Z = 3,80 m (Altura)

A energia cinética não é totalmente transformada em deformação estrutural do casco, como é apresentado na figura a seguir, indicando que a extensão de dano na direção longitudinal (X) compromete a extensão total do comprimento do tanque de lastro, embora com menor deformação nas direções transversais (Y e Z), portanto sem dano ao chapeamento do tanque de carga.

Figura 10 — Energia cinética X Extensão de Dano – Ponta do Boi – 15 graus.



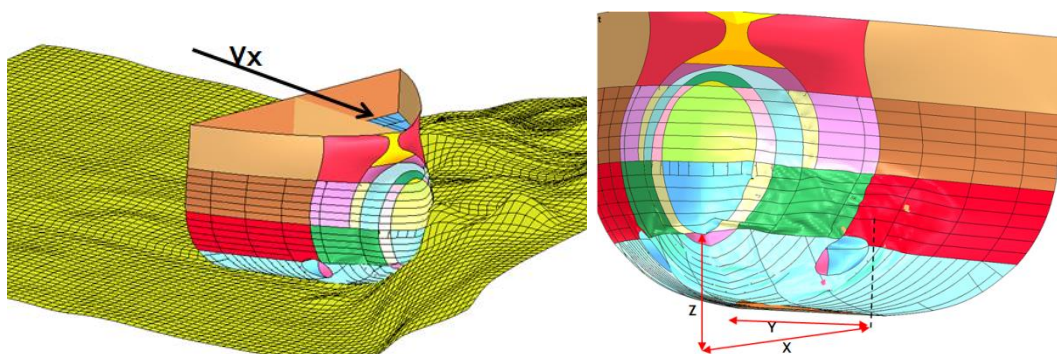
Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

### 4.3 Ponta do Boi – Ângulo de aproamento 45 graus - Velocidade 3,0 nós

Neste cenário foram considerados 4 velocidades, para avaliar se a extensão do dano que atinge a antepara de colisão de vante. O ângulo de aproamento adotado, em relação ao ângulo de rumo do canal, foi de 45 graus, assumindo um cenário onde a proa do navio entra em choque com o fundo marinho.

Com uma velocidade de  $V_x = 3,0$  nós, notou-se uma extensão de dano longitudinal (X) de 10,2 m aproximadamente. Neste cenário, a colisão aconteceu até o gigante intermediário de proa. A extensão de dano na seção transversal foi de  $Y = 11,00$  m e  $Z = 7,20$  m aproximadamente.

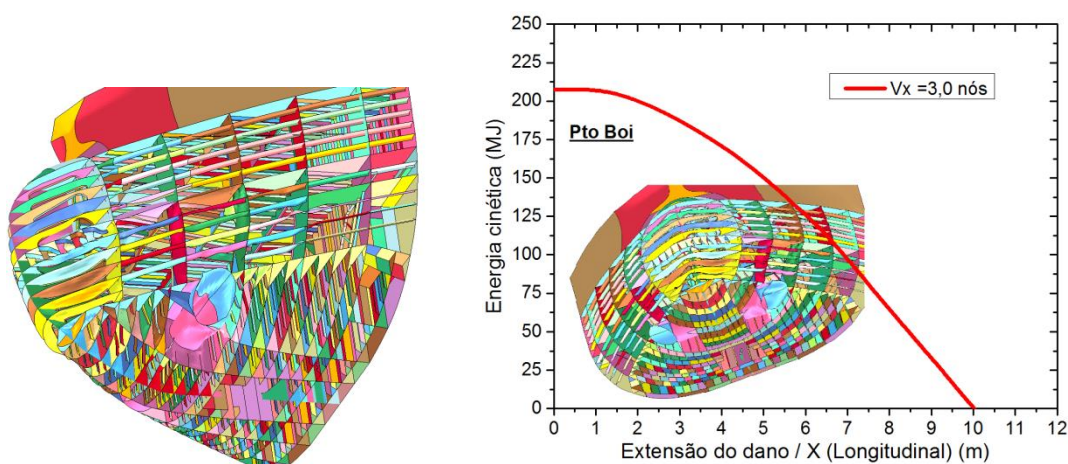
Figura 11 — Resultado de avaria – Ponta do Boi – 45 graus – 3 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

$X = 10,2$  m (Longitudinal),  $Y = 11,00$  m (Transversal),  $Z = 7,20$  m (Altura)

Figura 12 — Energia Cinética X Extensão de Dano – Ponta do Boi – 45 graus- 3 nós.



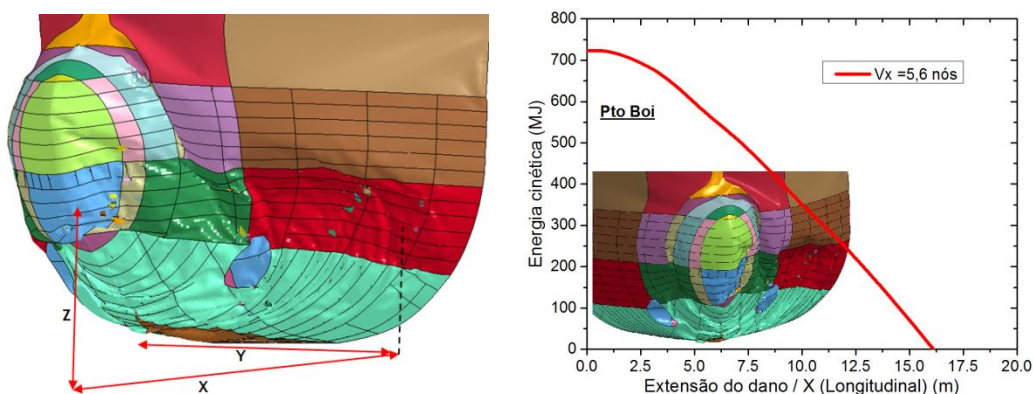
Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Extensão de dano atingiu o chapeamento de fundo da proa em uma faixa aproximadamente da metade do seu comprimento (Comprimento da proa = 19 m), mas sem atingimento à antepara de colisão de vante (elemento estrutural do tanque de carga). A energia cinética é consumida totalmente pelas deformações estruturais da proa, portanto sem apresentar impacto ao chapeamento do tanque de carga.

#### 4.4 Ponta do Boi – Ângulo de aproamento 45 graus - Velocidade 5,6 nós

Velocidade de  $V_x = 5,6$  nós, mostrou maior extensão de dano longitudinal (X) de 16,2 m aproximadamente.

Figura 13 — Energia cinética X Extensão de Dano – Ponta do Boi – 45 graus- 5,6 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

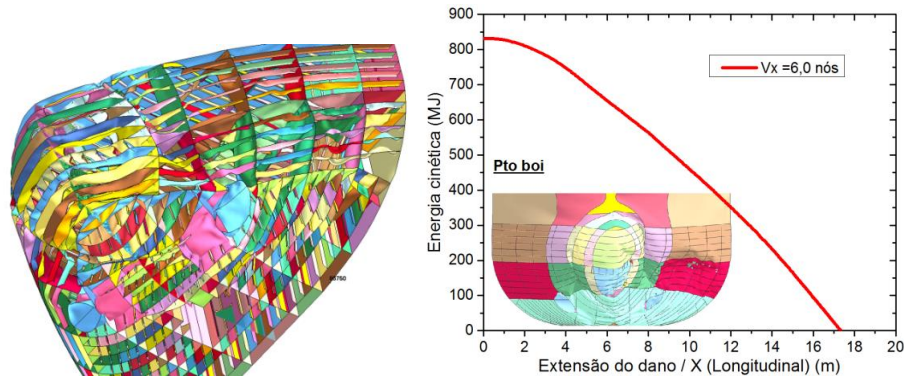
$X = 16,2$  m (Longitudinal),  $Y = 17,00$  m (Transversal),  $Z = 7,20$  m (Altura)

A energia cinética versus penetração é apresentada acima, indicando que a extensão de dano não comprometeu a antepara de colisão de vante.

#### 4.5 Ponta do Boi – Ângulo de aproamento 45 graus - Velocidade 6,0 nós

$V_x = 6,0$  nós, apresentou uma extensão de dano longitudinal (X) de 17,5 m aproximadamente, atingindo o lado bombordo com dano do casco até um gigante anterior a antepara de colisão de vante. A extensão de dano na seção transversal foi de  $Y = 18,70$  m e  $Z = 7,80$  m aproximadamente.

Figura 14 — Energia Cinética X Extensão de Dano – Ponta do Boi – 45 graus- 6,0 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

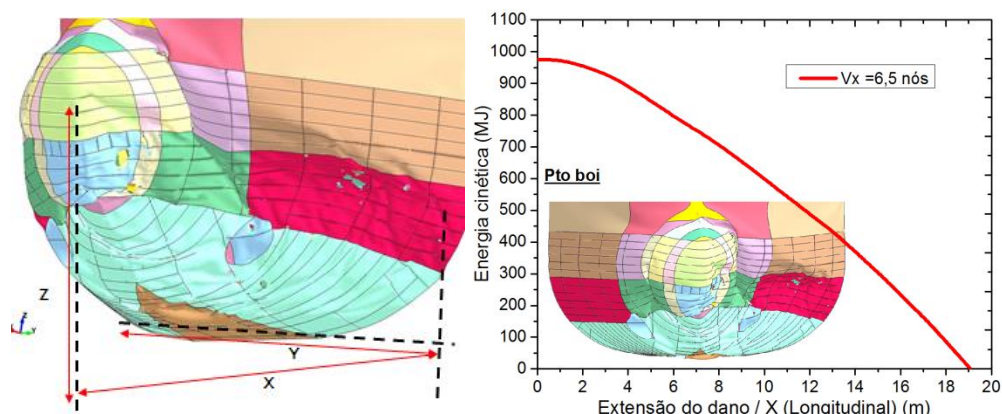
X = 17,50 m (Longitudinal), Y = 17,50 m (Transversal), Z = 7,80 m (Altura)

A extensão de dano comprometeu chapas do casco de proa, estruturas internas, convés e gigantes, contudo não chegou à antepara de vante, portanto sem colapso do tanque de carga.

#### 4.6 Ponta do Boi – Ângulo de aproamento 45 graus - Velocidade 6,5 nós

Vx = 6,5 nós apresentou estruturas danificadas até uma extensão de dano longitudinal (X) de 19 m aproximadamente, causando danos até a antepara de colisão de vante. A angulação de 45 graus, para esta velocidade, apresenta risco real de extravasamento de carga para o mar, uma vez que a distância longitudinal da antepara de vante é aproximadamente 19,4 m para o navio típico considerado.

Figura 15 — Curva Energia cinética X Extensão de Dano – Ponta do Boi – 45 graus - 6,5 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

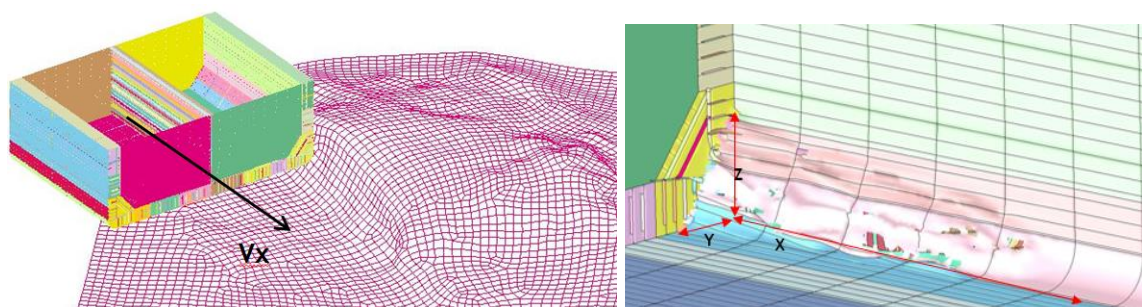
X = 19,00 m (Longitudinal), Y = 18,70 m (Transversal), Z = 10,80 m (Altura)

#### 4.7 Ilha das Cabras – Ângulo de aproamento 15 graus - Velocidade 5,6 nós

Os resultados para um ângulo de aproamento de 15 graus e velocidade  $V_x = 5,6$  nós, apresentaram dano estrutural no bojo, chapas de costado e fundo, embora sem atingimento do tanque de carga.

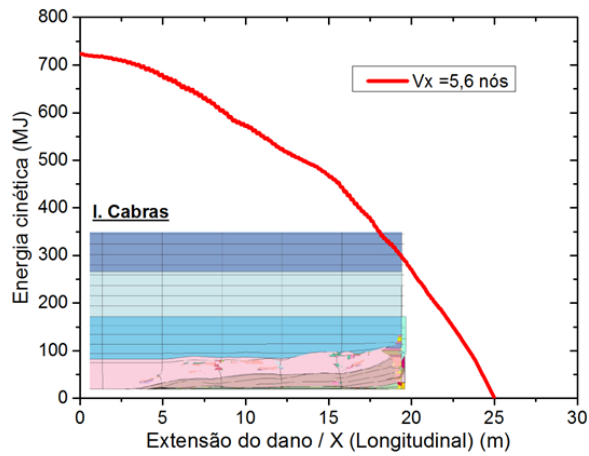
X = 25,00 m (Longitudinal), Y = 04,30 m (Transversal), Z = 05,40 m (Altura)

Figura 16 — Resultado de avaria – Ilha das Cabras – 15 graus – 5,6 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Figura 17 — Energia Cinética X Extensão de Dano – Ilha das cabras – 15 graus- 5,6 nós.

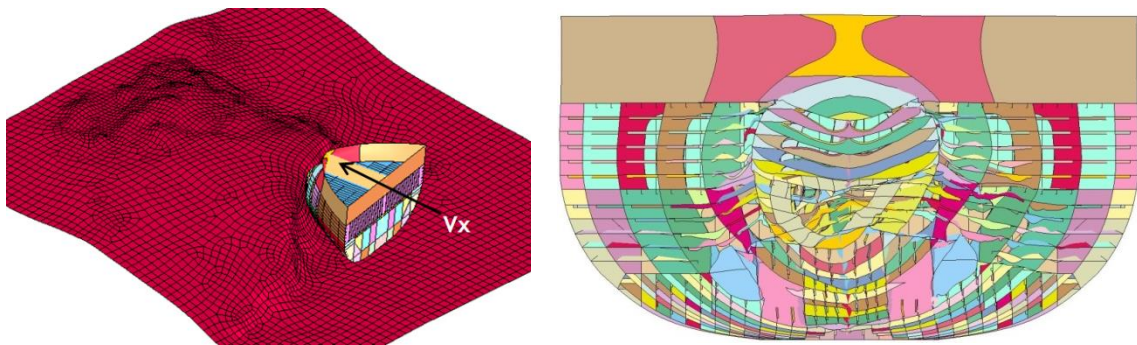


Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

#### 4.8 Ilha das Cabras – Ângulo de aproamento 45 graus - Velocidade 5,6 nós

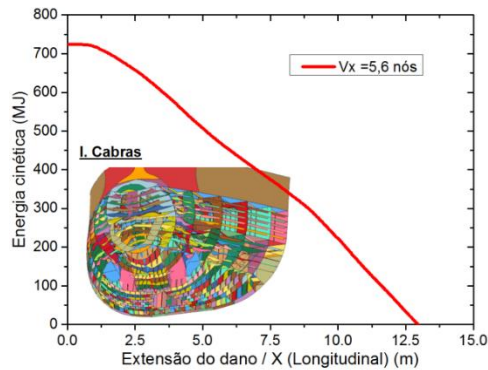
Os resultados obtidos para um ângulo de 45 graus e velocidade  $V_x = 5,6$  nós, no ponto de Ilha das Cabras:  $X = 13,00$  m (Longitudinal),  $Y = 09,70$  m (Transversal),  $Z = 08,70$  m (Altura).

Figura 18 — Resultado de avaria – Ilha das Cabras – 45 graus – 5,6 nós.



Fonte ANSYS/LS-DYNA (2021)

Figura 19 — Energia Cinética X Extensão de Dano – Ilha das cabras – 45 graus- 5,6 nós

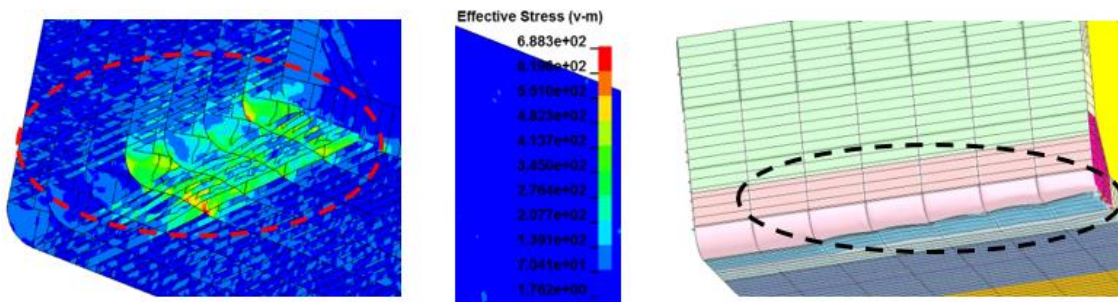


Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

#### 4.9 Boia 12 – Ângulo de aproamento 15 graus - Velocidade 5,6 nós

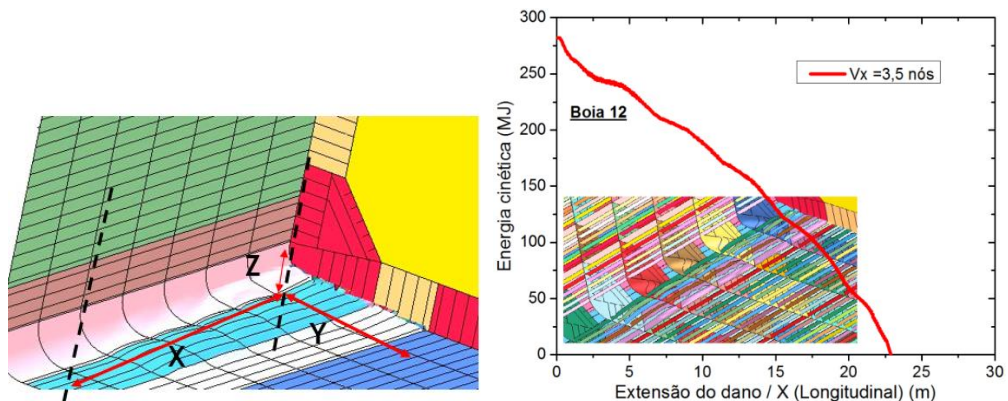
Os resultados obtidos para um ângulo de 15 graus e velocidade  $V_x = 5,6$  nós, no ponto da Boia 12:  $X = 22,60$  m (Longitudinal),  $Y = 9,60$  m (Transversal),  $Z = 1,00$  m (Altura).

Figura 20 — Resultado de avaria – Boia 12 – 15 graus – 5,6 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Figura 21 — Energia Cinética X Extensão de Dano – Boia 12 – 15 graus- 5,6 nós.



Fonte: ANSYS/LS-DYNA (2021)

Extensão de dano comprometeu somente as estruturas das chapas de fundo.

## 5 CONCLUSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos para extensão de avarias nos diversos pontos de interesse, variando-se velocidade e ângulo de aproamento, conclui-se que, a velocidade limite de 6,0 nós, não deve ser ultrapassada, durante a passagem nas áreas críticas apontadas, uma vez que, na Ponta do Boi temos uma extensão de danos com rompimento da antepara de vante, o que ocasionaria penetração do tanque de carga e conseqüente derrame de óleo, causando um desastre ambiental. Entretanto, algumas áreas consideradas críticas nas simulações de manobra, como Laje Preta, por exemplo, demonstraram baixo impacto na estrutura do casco na direção transversal, dada a geometria do fundo ser menos acidentada.

A análise reforçou a Ponta do Boi como uma região de atenção, que requer plano de ação e contingência para a passagem do conjunto navio e rebocadores. A Ilha das Cabras se mostrou como ponto de atenção, mas de menor criticidade.

Locais como a Laje Preta e Boia 12, embora apontados como áreas de risco de colisão ou encalhe, demonstraram baixo impacto, no que diz respeito a extensão de avarias e risco de derramamento de óleo, embora apresente especial complexidade para a execução da manobra nesta região.

Com estes resultados, a análise computacional de extensão de avarias pode indicar com assertividade as velocidades e angulações críticas para a navegação durante a passagem do navio nas áreas de maior complexidade. Onde há maior proximidade ao relevo marinho além dos limites do canal, em cenários de falha dos recursos de controle da governabilidade, considerando o impacto das resultantes de vento, corrente, efeito *squat*, calado máximo, o estudo auxiliou diretamente na definição dos parâmetros operacionais para manobras do Canal da Baía de Sepetiba, para evitar qualquer impacto ambiental, garantindo a proteção e integridade das comunidades locais, além da conservação da fauna e flora da região. Os limites operacionais recomendados a partir do estudo, apontam:

- a) Limite de velocidade de entrada e saída do canal em função do local de passagem, condições de vento e corrente e condição de carga;

- b) Aplicabilidade de rebocadores adicionais durante manobras no canal, nos pontos considerados críticos, sendo recomendados preventivamente durante a navegação nos trechos de interesse, para atuação num cenário contingência que requeira pronta resposta;
- c) Suporte na elaboração assertiva de planos de contingência do Porto Sudeste em advento de incidentes ou acidentes na região;
- d) Aplicação assertiva na redução de probabilidade de acidentes com impacto ambiental e redução crítica no fator criticidade x probabilidade de cenários considerados na análise de risco.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Notadamente, o estudo apresentado auxiliou com efetividade a definição e refinamento dos dados, que após apresentados à Praticagem do Rio de Janeiro, com a congruência e aprovação dos resultados, embasou as autoridades marítima e portuária na definição dos parâmetros operacionais de manobras com navios-tanque para operações *Ship-to-Ship* na Baía de Sepetiba, em andamento desde julho do ano vigente.

Dito isto, entende-se que essa metodologia pioneira no Brasil pode ser replicada para diferentes cenários para garantir que, ainda que haja um cenário de falha de leme ou máquina do navio onde a colisão for inevitável, o acidente não será capaz de causar o derramamento de óleo no mar, visto que não atingirá os tanques de carga, preservando a fauna e flora marinhas da região, o que demonstra o pleno alinhamento dos valores do Porto, além de compromisso no desenvolvimento de projetos sustentáveis que garantam a integridade e segurança das pessoas e do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Instrução Normativa IBAMA n.º 16, de 26 de agosto de 2013. Regulamenta os procedimentos técnicos e administrativos para a emissão da Autorização Ambiental para a realização de Operações *Ship-to-Ship* em águas jurisdicionais brasileiras. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 166, p. 58, 28 ago. 2013.

BRASIL. Marinha do Brasil. Comissão Coordenadora para os Assuntos da Organização Marítima Internacional. MARPOL - **Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, 1973**. Disponível em: <https://www.ccaimo.mar.mil.br/ccaimo/marpol>. Acesso em: 15 set. 2022

DNVGL. Structural design against accidental loads. 2019. **Standards Global Spec**. Disponível em: <https://standards.globalspec.com/std/14297114/dnvgl-rp-c204>. Acesso em: 15 set. 2022.

MARTINS, Marcelo R.; MATURANA, Marcos C.; ABREU, Danilo T. M. P. **Análise qualitativa de risco em manobra de navio petroleiro tipo Suezmax na bifurcação para o canal de acesso do Porto Sudeste Brasil (Itaguaí, RJ) suportada por simulações dinâmicas**. 2021.

PEDERSEN, P. T.; ZHANG, S. On impact mechanics in ship collisions. **Marine Structures**, v. 11, n. 10, p. 429-449, Dec. 1998.