

**XX COPINAVAL – CONGRESSO PAN-AMERICANO DE
ENGENHARIA NAVAL TRANSPORTE MARÍTIMO E
ENGENHARIA PORTUÁRIA**

**Comportamento Estrutural de Navio Tanque
Suezmax devido a Momento Vertical Extremo**

**Leandro C. Trovado e Segen F. Estefen
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – COPPE/UFRJ
Rio de Janeiro, Brasil**

Introdução

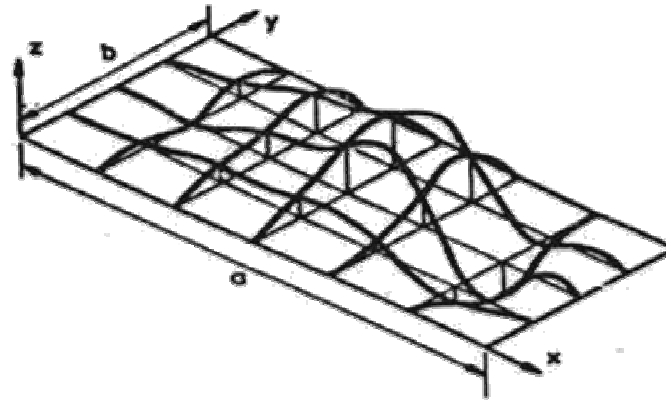
- ❑ Neste trabalho foi analisado a falha estrutural de um navio tanque Suezmax submetido a uma flexão vertical extrema;



- ❑ Ambas simulações numéricas e experimentais são descritas;
- ❑ O processo de fabricação envolve processos de soldagem para unir os reforçadores e chapas, gerando distorções e tensões residuais com efeitos deletérios na carga última do painel sobre predominante carregamento compressivo.

Introdução

- ❑ Imperfeição geométrica inicial foram idealizadas para estudar painéis entre vigas transversais de uma compartimento característico a meia-nau;
- ❑ Ambas amplitude e modo de distribuição das imperfeições são a principal causa de diferentes cargas últimas em painéis nominalmente idênticos;



- ❑ Os painéis reforçados são analisados para identificar a iniciação do colapso em um painel particular e a sua influencia na seqüência de falha;
- ❑ Interações entre painéis e reforçadores são identificados para melhor descrever o modo de falha global.



Correlação numérico-experimental

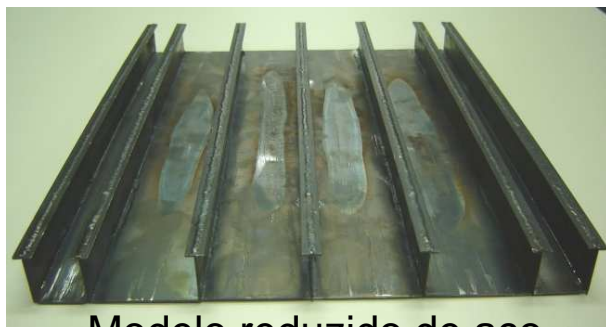
- ❑ Estudos de correlação numérico-experimental foram realizados para ajustar os modelos numéricos a ser usado na avaliação estrutural de um compartimento do navio tanque Suezmax;
- ❑ Modelos em escala reduzida de painéis do fundo do navio foram fabricados em escala 1:19;
- ❑ Tolerâncias dimensionais equivalentes as prescritas para o protótipo foram obtidas para o modelo em escala reduzida.
- ❑ O modelo teórico foi baseado no método dos elementos finitos, incorporando não linearidades geométrica e do material.

Correlação numérico-experimental

- ❑ Fabricação do modelo reduzido, escala 1:19
 - ❑ Modelos representativos de painéis reforçados entre hastilhas;
 - ❑ O modelo é montado usando um gabarito especialmente projetado para facilitar o processo de soldagem e minimizar as distorções



Gabarito utilizado na fabricação dos reforçadores



Modelo reduzido de aço



Medição do modelo reduzido usando um braço portátil com precisão sub-milimétrica

Correlação numérico-experimental

- ❑ Características geométricas do modelo reduzido
 - ❑ Dimensões da chapa: $a = 240,5\text{mm}$; $b = 43,7\text{mm}$; $t = 1,0\text{ mm}$.
 - ❑ Dimensões do reforço: $t_a = 0,67\text{ mm}$; $h_a = 21,6\text{ mm}$; $b_f = 7,6\text{ mm}$; $t_f = 1,0\text{ mm}$.
- ❑ Instrumentação e teste experimental



Localização dos strain-gages



Teste usando uma máquina Instron, modelo 8802



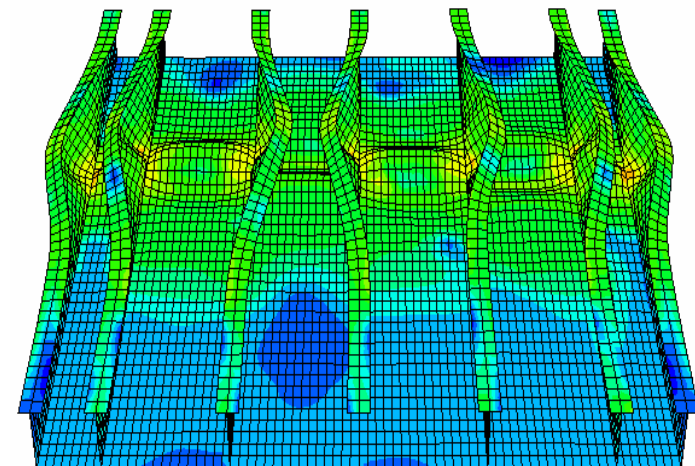
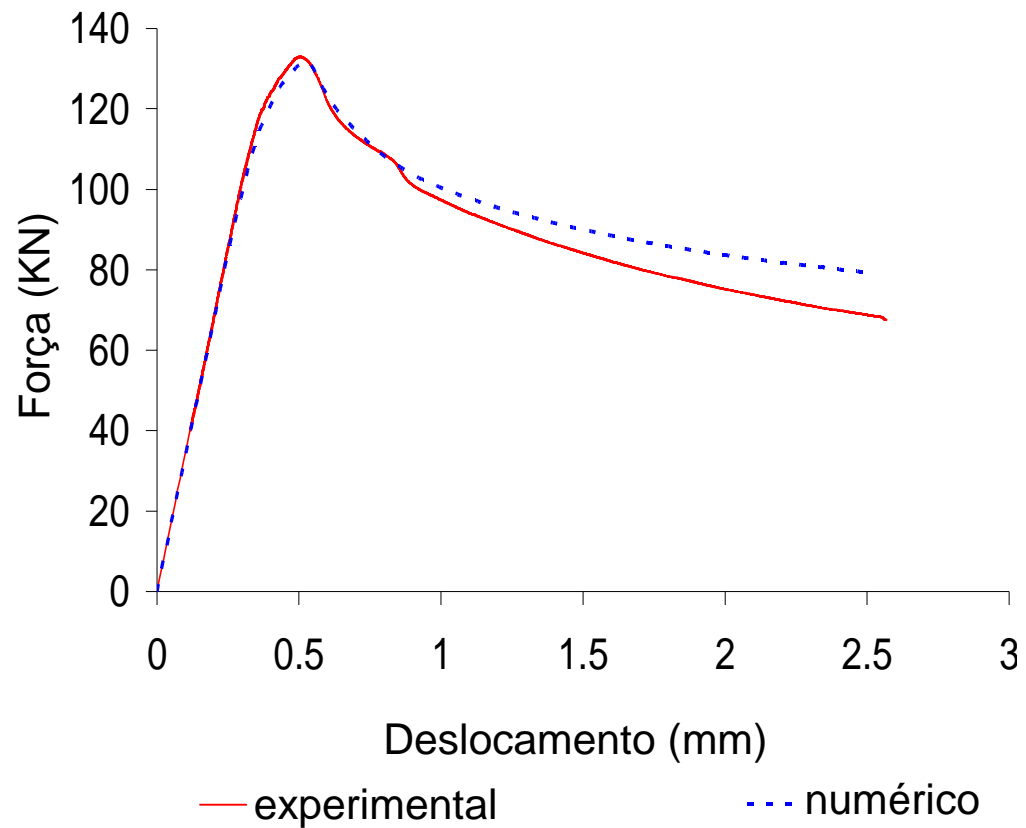
Correlação numérico-experimental

❑ Simulação numérica

- ❑ Análise numérica usando o software ABAQUS;
- ❑ Não linearidades geométrica e do material incorporadas na análise;
- ❑ Controle de deslocamento do carregamento compressivo para obter a curva tensão-deformação no pós-colapso;
- ❑ Não linearidade geométrica resolvida pelo método de Newton;
- ❑ Modelo do material: Critério de Von Mises associado com a teoria de fluxo J2 e encruamento isotrópico;
- ❑ Malha de elemento finitos usando elemento de casca S4, usados para análises chapas finas e espessas, considerando efeitos de membrana finita e grandes rotações.

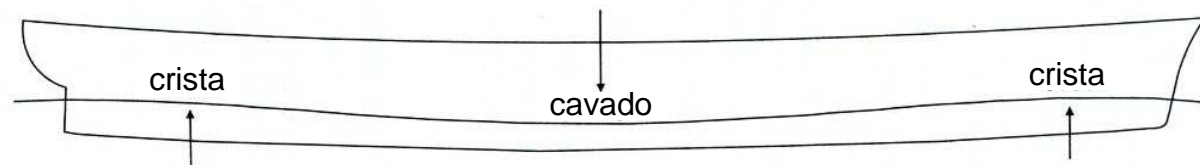
Correlação numérico-experimental

□ Resultado

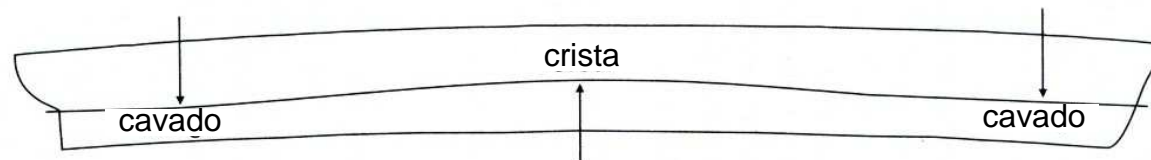


Comportamento estrutural de navio sob flexão

- ❑ **Objetivo:** Estudo do comportamento estrutural sob flexão vertical baseado no estado limite último
 - ❑ **Condição de tosamento**



- ❑ **Condição de alquebramento**



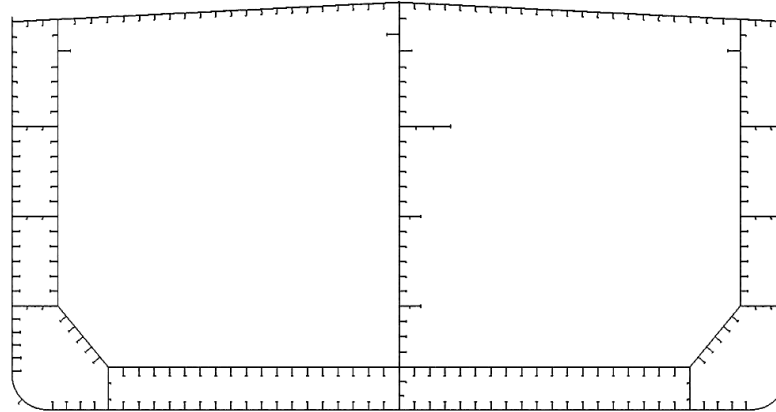


Comportamento estrutural de navio sob flexão

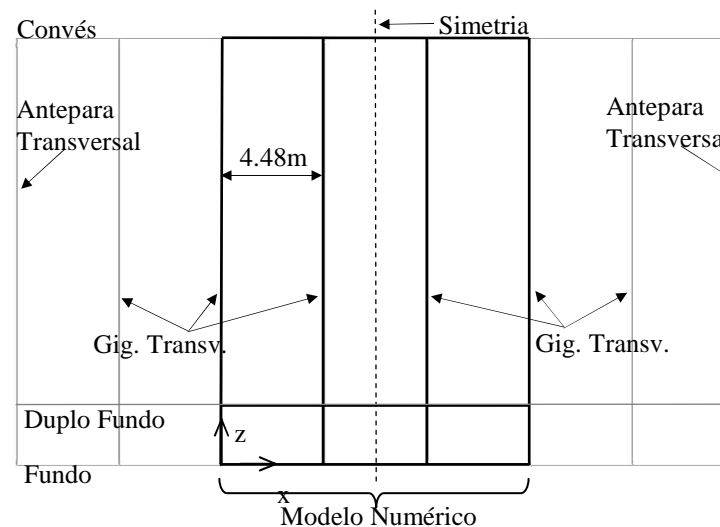
- ❑ Modelo numérico de uma navio tanque suezmax –
Compartimento entre gigantes transversais a meia-nau
 - ❑ Características principais do navio:
 - ❑ Comprimento Total (Loa) = 254 m
 - ❑ Comprimento entre perpendiculares (Lpp) = 244 m
 - ❑ Boca (B) = 42 m
 - ❑ Pontal (T) = 15 m
 - ❑ Deslocamento = 126.000 ton
 - ❑ A região analisada foi um espaçamento entre gigantes transversais de um porão típico a meia-nau de dimensões:
 - ❑ Comprimento do porão: 31,36 m
 - ❑ Espaçamento entre gigantes transversais: 4,48 m
 - ❑ Altura do duplo fundo: 2,3 m
 - ❑ Largura do dulo costado: 2,5 m

Comportamento estrutural de navio sob flexão

- Elementos longitudinais da seção estudada



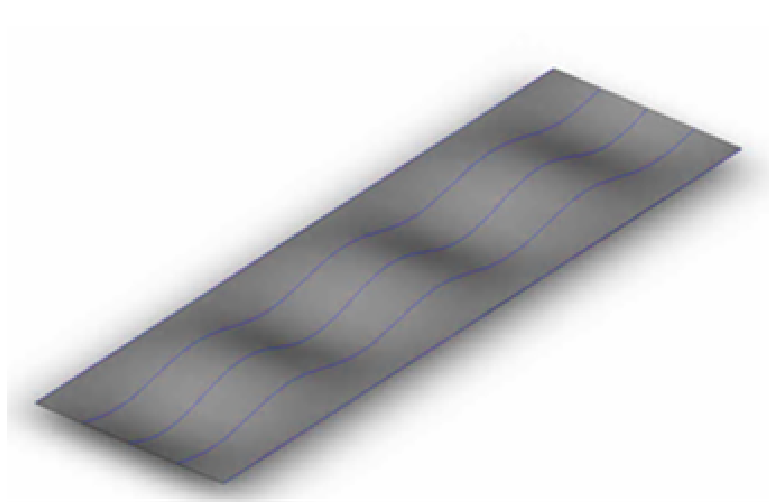
- Posição da região analisada no navio



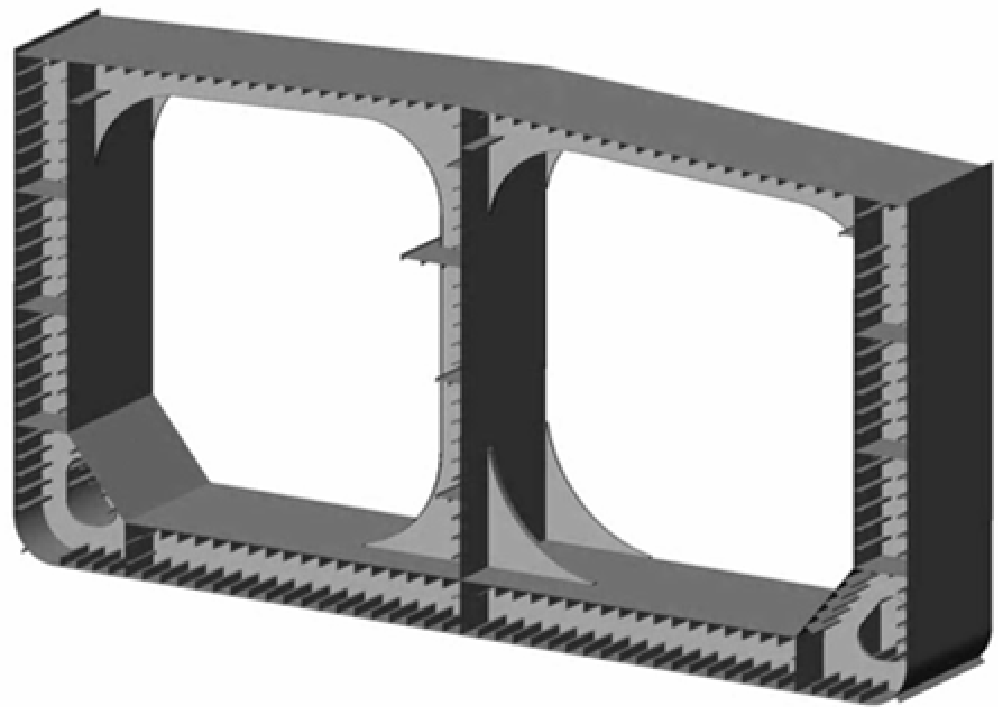
Comportamento estrutural de navio sob flexão

- Imperfeição geométrica inicial representada pela expressão:

$$w(x, y) = w_{\max} \cdot \sin\left(\frac{m \cdot x \cdot \pi}{a}\right) \cdot \sin\left(\frac{n \cdot y \cdot \pi}{b}\right)$$



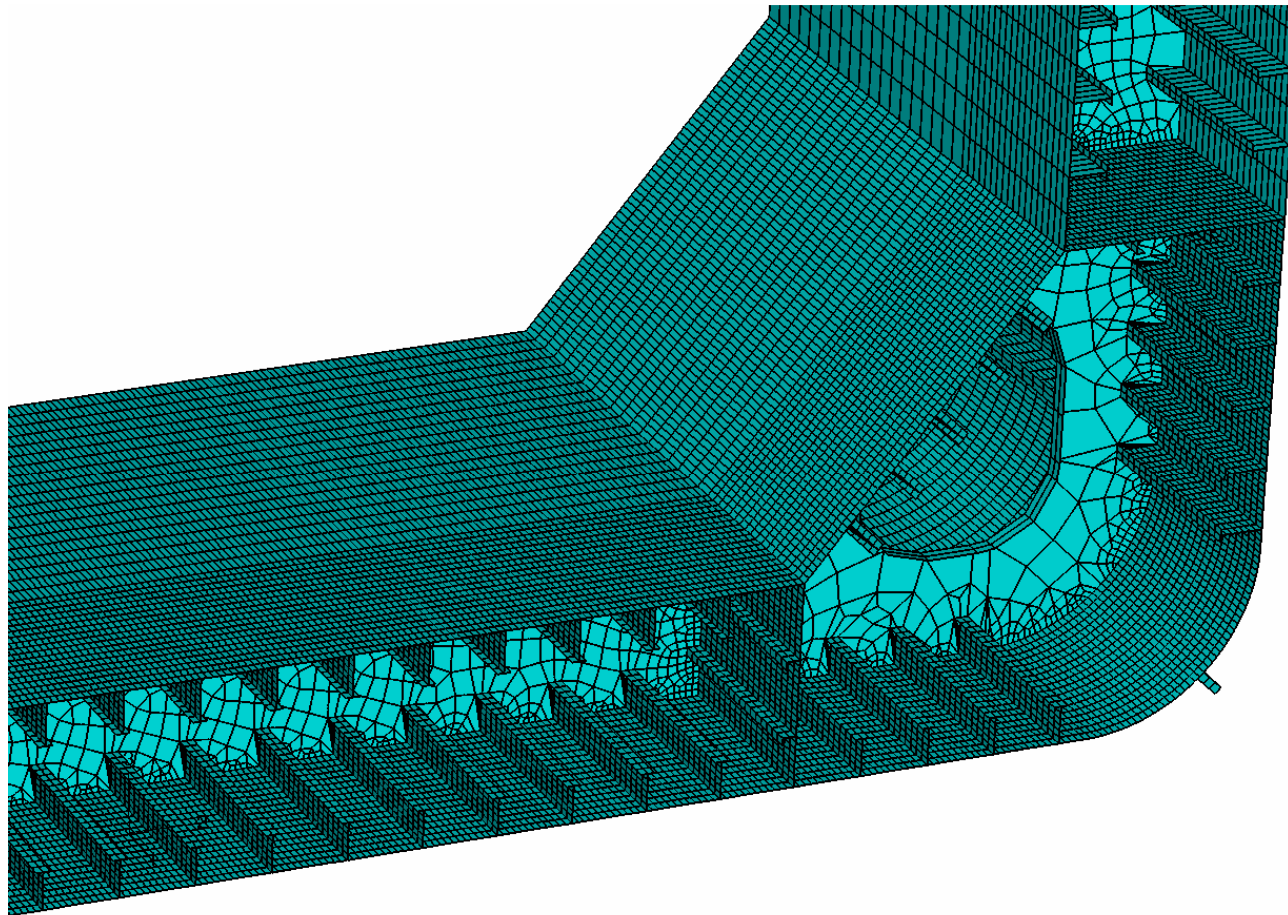
Painel construído em CAD



Modelo geométrico com simetria longitudinal

Comportamento estrutural de navio sob flexão

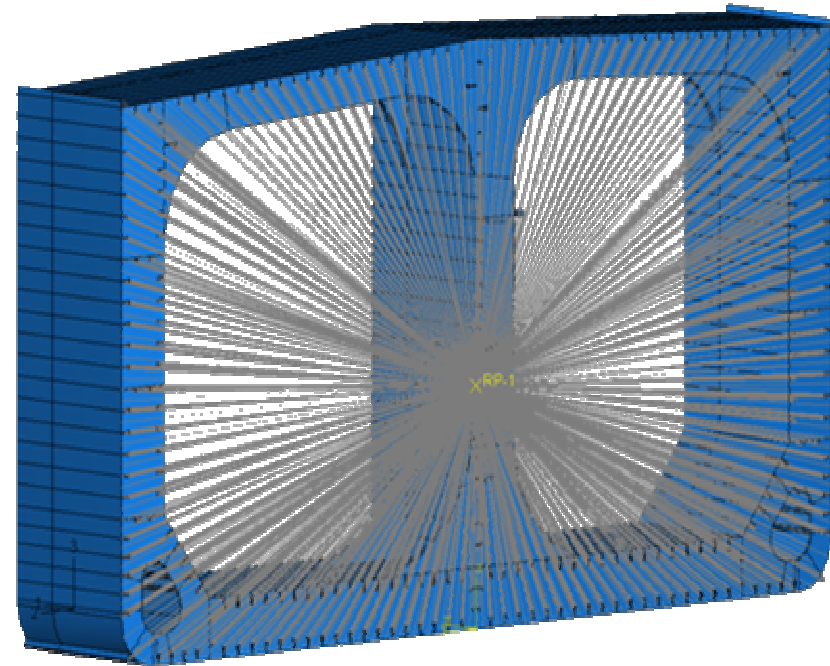
- ❑ Análise por Elementos Finitos
 - ❑ Malha baseada na correlação numérico-experimental realizada



Comportamento estrutural de navio sob flexão

□ Condição de carregamento

- A condição de carregamento de tosamento e alquebramento são efetuadas através de rotações incrementais controladas aplicadas em todos os nós da extremidade do modelo;
- Rotações incrementais são aplicadas em um ponto de referência e transmitida a toda extremidade de carga;
- O ponto de referência foi posicionado no eixo neutro inicial. A extremidade de carga permanece plana e normal a linha neutra durante o carregamento.





Comportamento estrutural de navio sob flexão

□ Condições de contorno

□ Ponto de referência

- $U_y = U_z = 0$
- $\theta_x = 0$

□ Simetria longitudinal

□ Propriedades do aço

- $\sigma_0 = 235 \text{ N/mm}^2$
- $E = 210,000 \text{ N/mm}^2$;
- $\nu = 0.3$



Comportamento estrutural de navio sob flexão

□ Análises

- Quatro análises foram realizadas no estudo do comportamento do navio tanque devido a momento de flexão extremo;
- Dois modelos foram desenvolvidos e submetidos a tosamento e alquebramento:
 - Modelo 1 – modo de imperfeição com uma semi-onda em ambas as direções ($m=1$, $n=1$);
 - Modelo 2 – modo de imperfeição coincidente com o modo natural de flambagem ($m=4$, $n=1$).
- A superfície da imperfeição geométrica inicial foi representada por uma distribuição senoidal.



Comportamento estrutural de navio sob flexão

□ Análises

- Magnitude das imperfeições baseada na máxima amplitude recomendada pela DNV;

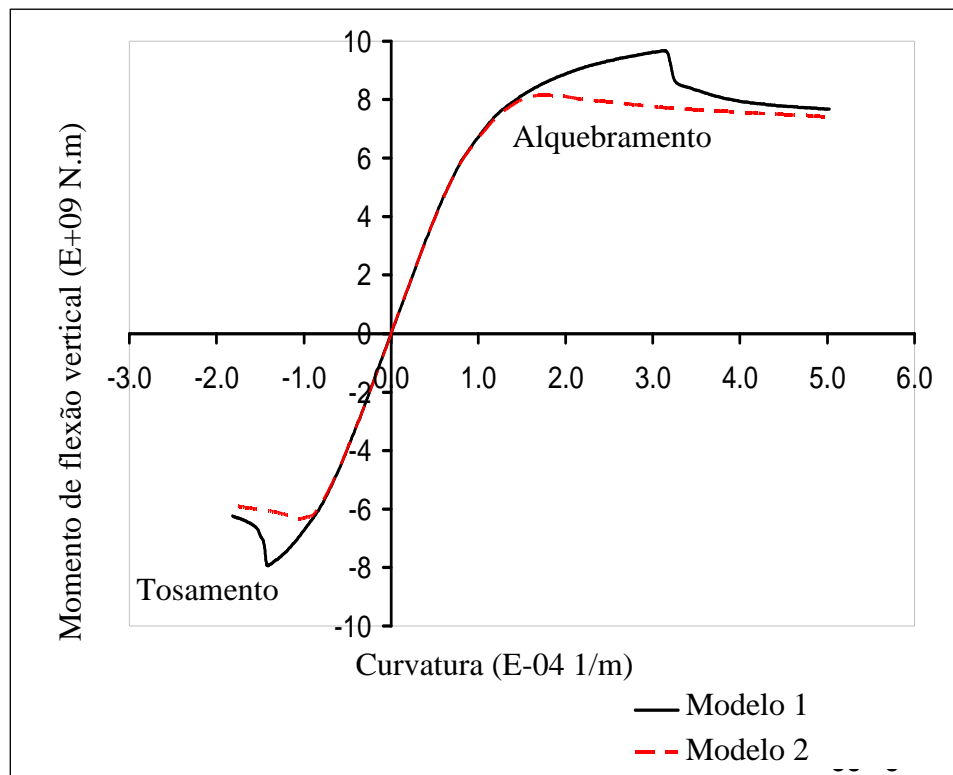
$$w_{\max} = 0.005b$$

- Para estes modelos ambos reforçadores e reforços transversais foram assumidos como geometria sem imperfeições

Comportamento estrutural de navio sob flexão

□ Resistência última a flexão

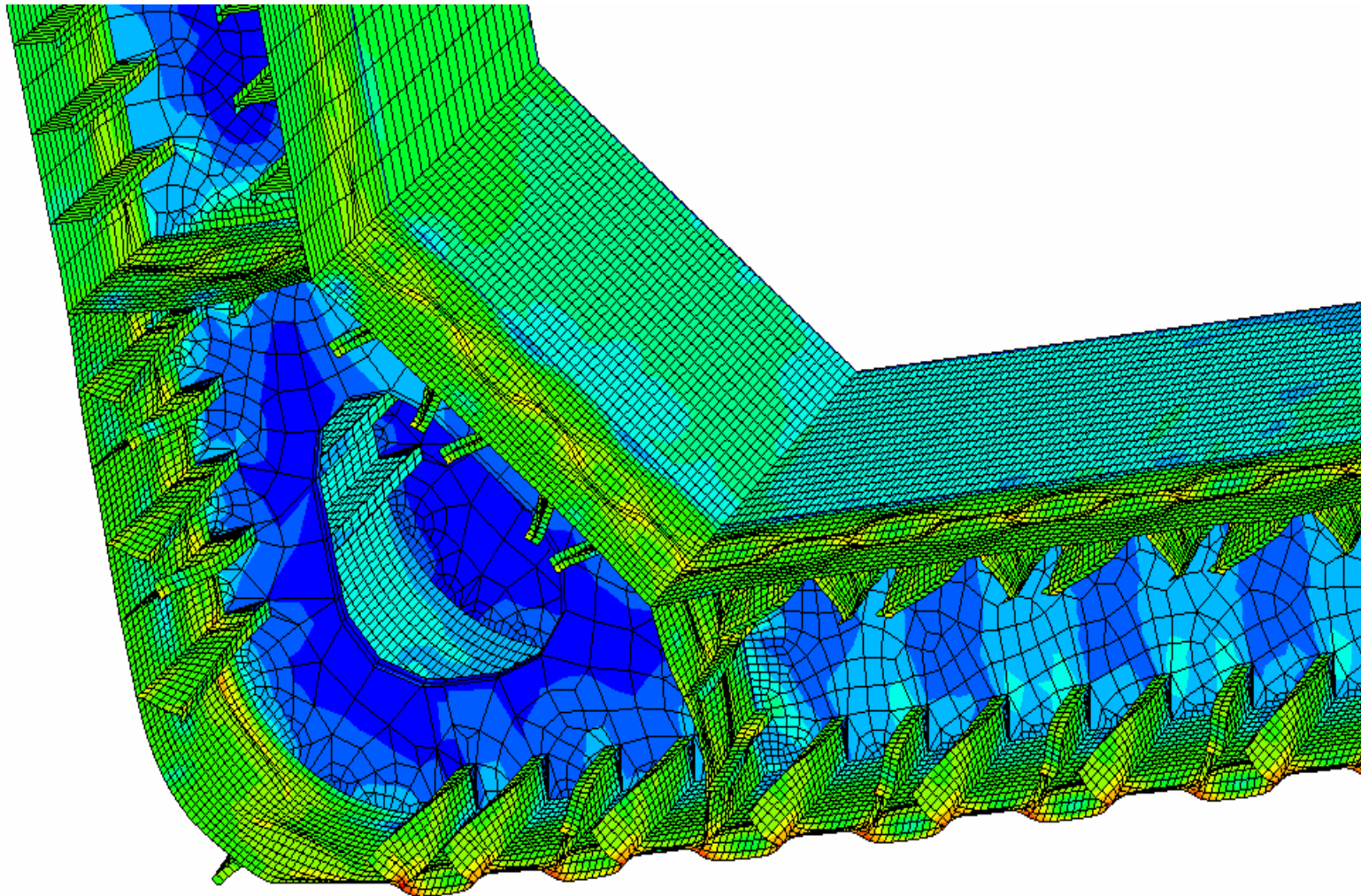
- Relação momento-curvatura obtida para os modelos 1 (m=1) e 2 (m=4 - modo natural de falha) para as condições de tosamento e alquebramento



- Alquebramento – Momento último
Modelo 1: 9.67 E+09 N.m
Modelo 2: 8.15 E+09 N.m
Diferença do 1 para o 2: 15.72%
- Tosamento – Momento último
Modelo 1: 7.92 E+09 N.m
Modelo 2: 6.34 E+09 N.m
Diferença do 1 para o 2: 19.95%

Comportamento estrutural de navio sob flexão

- Pós-colapso para o Modelo 1 em alquebramento





Comportamento estrutural de navio sob flexão

❑ Seqüência de falha

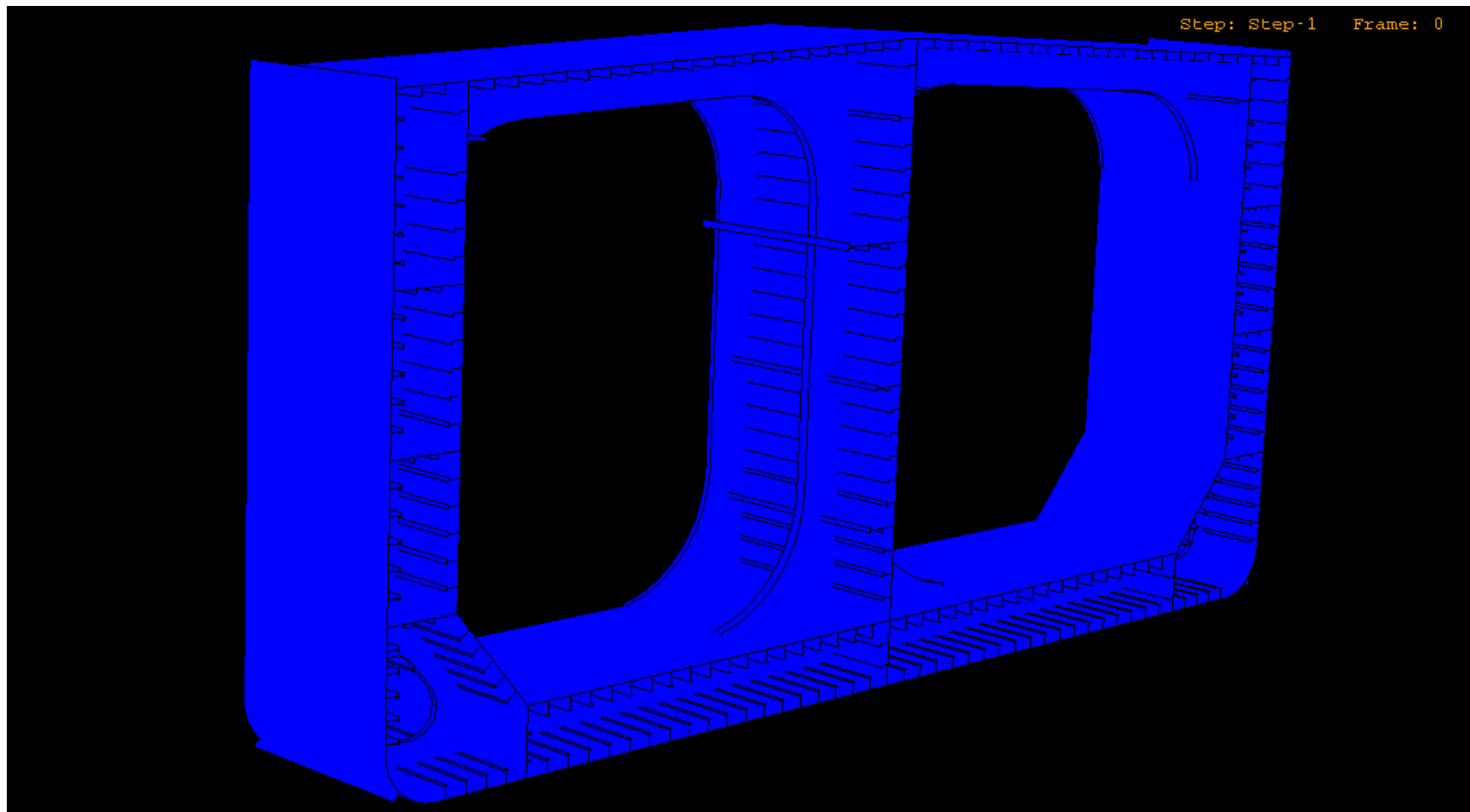
❑ Alquebramento

- ❑ Modelo 1
 - ❑ 1° - Reforço da longarina lateral (188,0 N/mm²);
 - ❑ 2° - Longarina lateral;
 - ❑ 3° - Falha das reforços e chapas do fundo.
- ❑ Modelo 2
 - ❑ 1° - Longarina central (146,3 N/mm²);
 - ❑ 2° - Chapas falharam antes dos respectivos reforçadores.

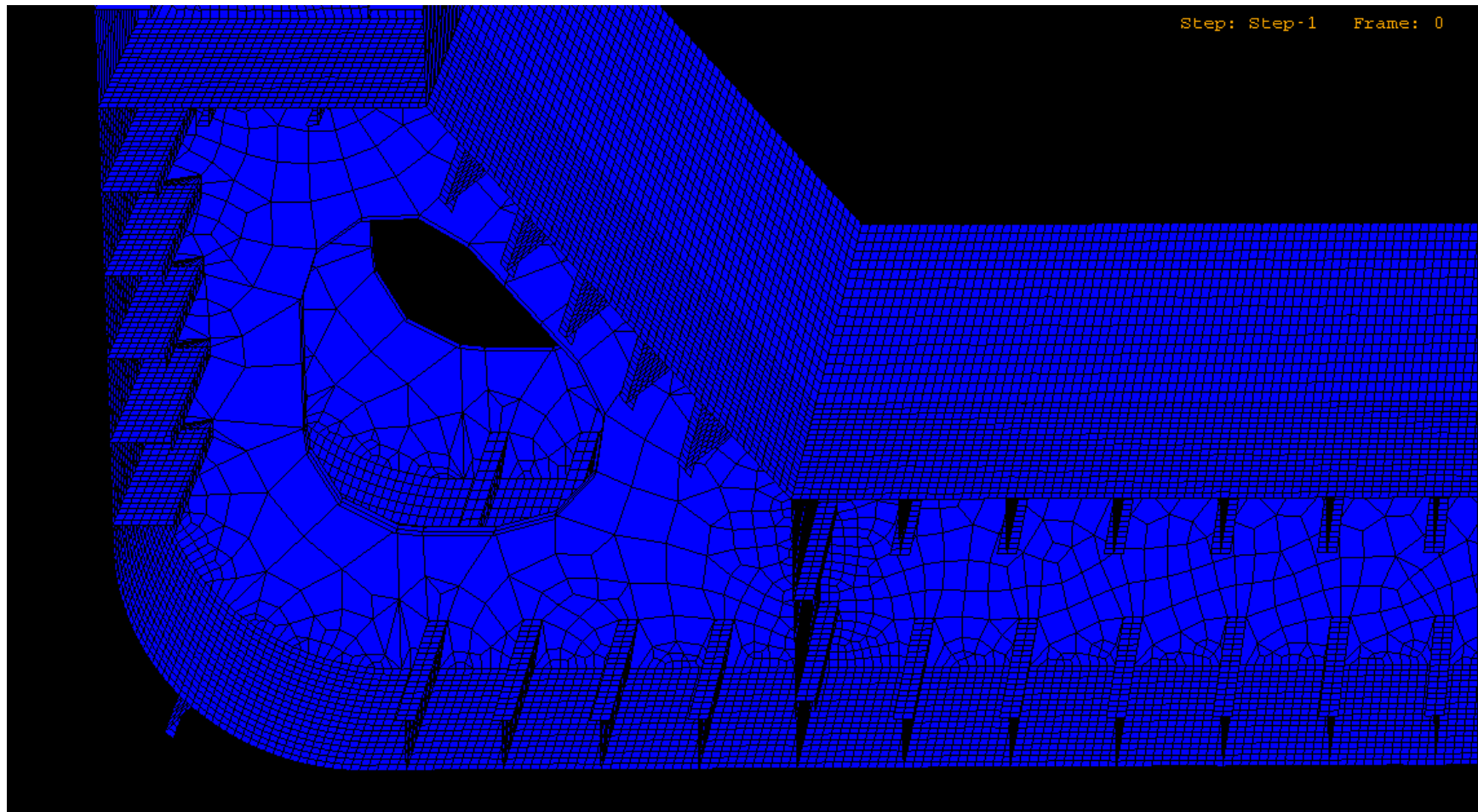
❑ Tosamento

- ❑ Modelo 1
 - ❑ 1° - Antepara longitudinal (220,0 N/mm²);
 - ❑ 2° - Reforçadores e chapas do convés.
- ❑ Modelo 2
 - ❑ 1° - Chapa do convés (189,00 N/mm²);
 - ❑ 2° - Chapas falham antes dos respectivos reforçadores.

Modelo 1 em alquebramento



Modelo 1 – Bojo em alquebramento





Conclusões

- ❑ O trabalho apresentado estudou a influência da distribuição da imperfeição geométrica inicial no comportamento de falha do compartimento entre gigantes transversais de um navio tanque suezmax submetido a momento de aquebramento e tosamento.
- ❑ Estudo de correlação foi desenvolvido usando os resultados de experimentos em escala reduzida e simulações numérica para construir o modelo numérico, refinamento de malha e formulação dos elementos finitos, para ser usada em simulações em escala real.
- ❑ Modo da distorções iniciais coincidente com o modo natural de falha de uma chapa particular necessita de menores cargas compressivas para falhar. Por outro lado, alguns modos de imperfeição podem dificultar o colapso, necessitando de carregamentos compressivos maiores para falhar.



Agradecimentos

- ❑ Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo (PRH-03) pela bolsa de mestrado

- ❑ Ao suporte da FINEP e da PETROBRAS / TRANSPETRO para o desenvolvimento tecnológico da indústria de construção naval brasileira