



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA
ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA



“INFLUÊNCIA DA MASSA ADICIONAL PARA FREQUÊNCIA
NATURAL EM MODELOS EM ELEMENTOS FINITOS
TRIDIMENSIONAIS”

Eduardo da Silva Cunha

Projeto Final Submetido ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval e Oceânico.

Orientador: Luiz Antonio Vaz Pinto, D.Sc.

Rio de Janeiro

Agosto de 2013

INFLUÊNCIA DA MASSA ADICIONAL PARA FREQUÊNCIA
NATURAL EM MODELOS EM ELEMENTOS FINITOS
TRIDIMENSIONAIS

Eduardo da Silva Cunha

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO NAVAL E OCEÂNICO.

Examinado por:

Luiz Antonio Vaz Pinto, D.Sc. DENO/COPPE/UFRJ
(Orientador)

Ricardo Homero Ramírez Gutiérrez, M.Sc., DENO/COPPE/UFRJ
(Co-Orientador)

Severino Fonseca da Silva Neto, D.Sc., DENO/COPPE/UFRJ

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 2013

DEDICATÓRIA

Ao meu pai que tanto tenho saudades e tanto devo

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai, que sem ele não estaria aqui nem teria chegado tão longe nessa vida, agradeço a minha mãe que me deu a possibilidade de viver sonhar e crescer e a minha Avó Ilka que em toda minha vida foi exemplo de abnegação e garra diante de tantas adversidades que a vida lhe impôs.

Agradeço a minha esposa, que sempre foi meu farol nas noites mais escuras, que me lançou a boia salvadora quando mais precisei. Que enxugou minhas lágrimas, me levantou quando cai e sempre me incentivou e jamais permitiu que eu desistisse do meu sonho. Não posso esquecer a sua família, que sempre me fez seu membro honorário, sua mãe que me adotou suas tias e tios que me tornaram sobrinho.

A família Sardella que sempre foi meu lar do coração sem as palavras carinhosas de todos não poderia estar aqui, sem a torcida de vocês poderia ter desistido, aqui não posso esquecer-me do membro dessa família que a todos traz saudades, Gabriel Sardella a onde quer que você esteja muito obrigado por todos os dias divertidos que passamos juntos e pela torcida.

Agradeço a LEDAV/LEME, que não só para mim, mais para muitos alunos é o porto seguro onde encontramos apoio e incentivos de todos que ali trabalham e se dedicam a pesquisa. Sempre encontramos a porta aberto do laboratório sempre somos recepcionados com um sorriso. Obrigado a todos em especial Ricardo Homero, que nesse tempo me ajudou nessa ultima empreitada, ao Professor Luiz Vaz que sempre teve um tempo para me ouvir e tecer boas orientações, não só com o trabalho mais com a respeito da vida acadêmica. E é claro aquele que todos nós amamos e respeitamos Professor Severino Fonseca, que sempre teve uma palavra amiga nos dias difíceis.

E por fim quero agradecer a ela que sempre corremos, mas é sempre a responsável por buscar o conhecimento, de pensar em situações diferentes, para solucionar os problemas, que nos faz cair, mas ao levantarmos nós estamos mais maduros e buscamos compreender o que nos fez cair. E jamais um engenheiro deve temê-la. Obrigado por tudo dificuldade sem você não cresceria jamais.

Resumo do Projeto de Graduação apresentada ao DEnO como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Naval e Oceânico

INFLUÊNCIA DA MASSA ADICIONAL PARA FREQUÊNCIA NATURAL EM MODELOS EM ELEMENTOS FINITOS TRIDIMENSIONAIS

Eduardo da Silva Cunha

Agosto/2013

Orientador: Luiz Antonio Vaz Pinto, D.Sc

Departamento: Engenharia Naval e Oceânica

Nesse trabalho será feita uma análise dos modos de vibração de uma embarcação que navega em fundo raso, e assim, verificar a possibilidade de ocorrência de ressonância na estrutura do navio, comparando os resultados obtidos em outro projeto de graduação. A influência da massa adicional sobre a frequência natural foi considerada. Será realizada a modelagem tridimensional, em elementos finitos, que contempla os elementos longitudinais da embarcação sob estudo. Os resultados do modelo serão comparados com os resultados de um modelo unidimensional da mesma embarcação, feito em programa diferente do SESAM.

Índice

Lista de figuras	9
1. Introdução	10
1.1. Navegação Fluvial	10
1.1.1. Transporte Hidroviário	11
1.1.2. Principais Hidrovias.....	12
1.2. Motivação	16
2. Fundamentos Teóricos para a Análise de Vibração.....	18
2.1. Classificação de Vibrações	19
2.2. Vibração Livre de Sistemas de 1 grau de Liberdade	19
2.3. Vibração Livre de um Sistema “n” graus de liberdade.....	21
3. Massa adicional.....	23
3.1. Coeficiente de massa adicional.....	24
3.2. Águas Profundas	26
3.3. Águas Rasas.....	27
3.3.1. Método de Cálculo pelo SESAM.....	28
4. Modelo Tridimensional e Unidimensional	30
4.1. Modelo Unidimensional	31
4.2. Modelo Tridimensional.....	32
5. Cálculo da Massa adicional	32
6. Resultados.....	33
7. Comparações.....	38
8. Conclusão	40
9. Referências Bibliográficas	41
I. Anexo.....	42
II. Anexo.....	47

Lista de figuras

Figura 1-1– Transporte Hidroviário.....	12
Figura 1-2 - Bacia Hidrográfica do Sul	14
Figura 1-3 - Germano Becker	17
Figura 2-1 – Pendulo Simples.....	18
Figura 2-2 – Sistema Torcional	18
Figura 2-3 – Viga em balanço.....	19
Figura 2-4 – Sistema Massa Mola	20
Figura 2-5 – Modo de vibração da viga navio	21
Figura 3-1 – Movimento Vertical da Seção da Embarcação e da Partícula do Fluido	24
Figura 3-2 – Cilindro com movimentos verticais	25
Figura 3-3 – Curvas da massa adicional para águas profundas	27
Figura 3-4 – Curva de massa adicional para águas rasas.....	28
Figura 3-5 - Entrada das informações sobre o fluido.....	29
Figura 3-6 –Entrada do modo linear de análise	30
Figura 3-7 - Entrada de informações do fundo	30
Figura 3-8 – Método de Resolução.....	30
Figura 4-1 – Arranjo Geral	32
Figura 5-1 - Gráfico com as massas adicionais	33
Figura 6-1 – Modo de vibração 1 3D.....	34
Figura 6-2 – Modo de Vibração 2 3D.....	34
Figura 6-3 – Modo de Vibração 3 3D.....	35
Figura 6-4 – Modo de Vibração 4 3D.....	35
Figura 6-5 – Modo de Vibração 5 3D.....	36
Figura 6-6 – Viga modo de vibração 1	36
Figura 6-7 – Viga modo de vibração 2	37
Figura 6-8 – Viga modo de vibração 3	37
Figura 6-9 – Viga modo de vibração 4	38
Figura 6-10 – Viga modo de vibração 5	38
Figura 7-1 – Gráfico de comparação das massas adicionais.....	39
Figura 7-2 – Gráfico de comparações de modo de vibração 1D.....	39
Figura 7-3 – Gráfico de comparação dos modos de vibração 3D	40
Figura I-1 – Seção Mestra.....	42
Figura I-2 – Seção de Vante	43
Figura I-3– Entrada de informações Sections Scantling	43
Figura I-4 – Seção Mestra.....	44
Figura I-5 – Seção de Ré.....	44
Figura I-6 – Viga	45
Figura I-7 Modelo com problemas	46
Figura I-8 Modelo sendo carenado	46
Figura I-9 Modelo com algumas estruturas internas.....	47

1. Introdução

A vibração ocorre sempre que forças dinâmicas agem sobre os elementos de uma estrutura. A resposta dinâmica do sistema depende do grau de amortecimento, além da magnitude da excitação. Havendo ainda grande influência das frequências das cargas de excitação o que pode colocar à estrutura numa condição de ressonância, acarretando danos à estrutura.

Particularmente a vibração é de grande interesse da Engenharia Naval, pois uma embarcação possui diversas fontes geradoras de vibração (motor de propulsão e sistema propulsivo, efeitos das ondas sobre o casco, etc.) e toda a estrutura é afetada por esse fenômeno. Muitos estudos visam projetar navios cuja operação possua níveis aceitáveis de vibração.

A navegação interior tem como característica baixa profundidade, com muitos obstáculos submersos ou mesmo flutuantes tais como troncos de madeira ou assoreamento. A limitação de calado é fator preponderante nos projetos de embarcações fluviais. Essa proximidade com o fundo do rio gera um aumento da velocidade de escoamento envolta do casco contribuindo, assim, para uma região de baixa pressão fazendo com que o calado aumente.

Dessa forma temos o aumento da probabilidade de colisão com o fundo seja do casco ou do próprio hélice. Outra questão importante é o aumento da vibração da estrutura e do propulsor. Essa vibração excessiva pode ser desagradável do ponto de vista ergonômico e do ponto de vista estrutural podendo gerar falhas críticas à embarcação, colocando em risco à equipe a bordo.

No presente projeto será apresentado um estudo de vibração de um navio que opera em águas rasas, desenvolvendo modelos 1D e 3D no Software SESAM que permite o cálculo direto da massa adicional. Os resultados serão comparados com modelos 1D e 3D desenvolvidos em outros softwares comerciais, onde a massa adicional foi calculada através da utilização de correlações empíricas e inseridas no modelo.

1.1. Navegação Fluvial

A navegação fluvial no Brasil está numa posição inferior em relação aos outros sistemas de transportes. É o sistema de menor participação no transporte de mercadorias no Brasil. Isto ocorre devido a vários fatores. Muitos rios do Brasil são de planalto, por exemplo, apresentando-se encachoeirados, portanto, dificultam a navegação. É o caso dos rios Tietê, Paraná, Grande, São Francisco e outros. Outro motivo são os rios de planície facilmente navegáveis (Amazonas e Paraguai), os quais se encontram afastados dos grandes centros econômicos do Brasil.

Nos últimos anos têm sido realizadas várias obras, com o intuito de tornar os rios brasileiros navegáveis. Eclusas são construídas para superar as diferenças de nível das águas nas barragens das usinas hidrelétricas. É o caso da eclusa de Barra Bonita no rio Tietê e da eclusa de Jupuí no rio Paraná, já prontas.

Existe também um projeto de ligação da Bacia Amazônica à Bacia do Paraná. É a hidrovia de Contorno, que permitirá a ligação da região Norte do Brasil às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul, caso implantado. O seu significado econômico e social é de grande importância, pois permitirá um transporte de baixo custo.

O Porto de Manaus, situado à margem esquerda do rio Negro, é o porto fluvial de maior movimento do Brasil e com melhor infraestrutura. Outro porto fluvial relevante é o de Corumbá, no rio Paraguai, por onde é escoado o minério de manganês extraído de uma área próxima da cidade de Corumbá.

1.1.1. Transporte Hidroviário

O Brasil tem mais de 4 mil quilômetros de costa atlântica navegável e milhares de quilômetros de rios. Apesar de boa parte dos rios navegáveis estarem na Amazônia, o transporte nessa região não tem grande importância econômica, por não haver nessa parte do país mercados produtores e consumidores de peso.

Os trechos hidroviários mais importantes, do ponto de vista econômico, encontram-se no Sudeste e no Sul do País. O pleno aproveitamento de outras vias navegáveis depende da construção de eclusas, pequenas obras de dragagem e, principalmente, de portos que possibilitem a integração intermodal. Entre as principais hidrovias brasileiras, destacam-se duas: Hidrovia Tietê-Paraná e a Hidrovia Taguari - Guaíba. Na figura 1.1 é apresentado o mapa com as divisões das bacias Hidrográficas do Brasil



Figura 1-1– Transporte Hidroviário

1.1.2. Principais Hidrovias

Entre as principais hidrovias, tem-se as seguintes:

Hidrovia Araguaia-Tocantins

A Bacia do Tocantins é a maior bacia localizada inteiramente no Brasil. Durante as cheias, seu principal rio, o Tocantins, é navegável numa extensão de 1.900 km, entre as cidades de Belém, no Pará, e Peixes, em Goiás, e seu potencial hidrelétrico é parcialmente aproveitado na Usina de Tucuruí, no Pará. O Araguaia cruza o Estado de Tocantins de norte a sul e é navegável num trecho de 1.100 km. A construção da Hidrovia Araguaia-Tocantins visa criar um corredor de transporte intermodal na região Norte.

Hidrovia São Francisco

Entre a Serra da Canastra, onde nasce, em Minas Gerais, e sua foz, na divisa de Sergipe e Alagoas, o "Velho Chico", como é conhecido o maior rio situado inteiramente em território brasileiro, é o grande fornecedor de água da região semi-árida do Nordeste. Seu principal trecho navegável situa-se entre as cidades de Pirapora, em Minas Gerais, e Juazeiro, na Bahia, num trecho de 1.300 quilômetros. Nele estão instaladas as usinas hidrelétricas de Paulo Afonso e Sobradinho, na Bahia;

Moxotó, em Alagoas; e Três Marias, em Minas Gerais. Os principais projetos em execução ao longo do rio visam melhorar a navegabilidade e permitir a navegação noturna.

Hidrovia da Madeira

O rio Madeira é um dos principais afluentes da margem direita do Amazonas. A hidrovia, com as novas obras realizadas para permitir a navegação noturna, está em operação desde abril de 1997. As obras ainda em andamento visam baratear o escoamento de grãos no Norte e no Centro-oeste.

Hidrovia Tietê-Paraná

Esta via possui enorme importância econômica por permitir o transporte de grãos e outras mercadorias de três estados: Mato Grosso do Sul, Paraná e São Paulo. Ela possui 1.250 quilômetros navegáveis, sendo 450 no rio Tietê, em São Paulo, e 800 no rio Paraná, na divisa de São Paulo com o Mato Grosso do Sul e na fronteira do Paraná com o Paraguai e a Argentina. Para operacionalizar esses 1.250 quilômetros, há necessidade de conclusão de eclusa na represa de Jupia para que os dois trechos se conectem.

Taguari-Guaíba

Com 686 quilômetros de extensão, no Rio Grande do Sul, esta é a principal hidrovia brasileira em termos de carga transportada. É operada por uma frota de 72 embarcações, que podem movimentar um total de 130 mil toneladas. Os principais produtos transportados na hidrovia são grãos e óleos. Uma de suas importantes características é ser bem servida de terminais intermodais, o que facilita o transbordo das cargas. No que diz respeito ao tráfego, outras hidrovias possuem mais importância local, principalmente no transporte de passageiros e no abastecimento de localidades ribeirinhas. Na figura 1.2. é apresentada a Bacia Hidrográfica do Sul.



Figura 1-2 - Bacia Hidrográfica do Sul

No presente relatório será focada a área de atuação da embarcação que é a bacia hidrográfica Taguaria – Guaíba. Com dito acima é uma das importantes áreas de navegação interior.

A hidrovia do Sul apresenta características peculiares quando comparadas às demais hidrovias brasileiras e que a assemelha a hidrovias europeias. O sistema hidroviário do sul liga, por meio de rios, canais e lagoas, a região industrial e de produção agrícola do Rio Grande do Sul a um grande porto marítimo – o Porto de Rio Grande – já na saída para o oceano Atlântico. A tabela 1.1. apresenta as vias navegáveis que compõem a hidrovia assim como os órgãos que a administram, em cada trecho.

A hidrovia do Sul conta com quatro portos organizados e 15 terminais de uso privativo em operação, conforme a tabela 1.2. Ao longo da hidrovia, nos rios Jacuí e Taquari, foram construídos e estão em operação quatro eclusas em barramentos de regularização, destinados a evitar grandes variações do nível, para controle de inundação e melhoria das condições de navegabilidade. Existe, ainda, uma barragem eclusa da construída no canal de São Gonçalo para impedir a salinização das águas do canal e da Lagoa Mirim e que propicia a navegação para a Lagoa dos Patos. Algumas características das eclusas são apresentadas na tabela 1.3.

Tabela 1-1– Extensão Navegável

<p>Administração:</p>	<p>Administração das Hidrovias do Sul – AHSUL – rio Taquari, Lagoa Mirim e duas eclusas do rio Jacuí</p> <p>Superintendência de Portos e hidrovias – SPH – Lagoa dos Patos, Canal de São Gonçalo, lago do Guaíba, rio Jacuí, rio Gravataí, rio dos Sinos e rio Caí, Eclusas de Amarópolis, Anel de Dom Marco, Bom Retiro e Fandango</p>																							
<p>Principais rios que compõem a hidrovia:</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="549 674 976 725">Nome</th> <th data-bbox="976 674 1347 725">Extensão navegada (km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="549 725 976 777">Rio Jacuí</td> <td data-bbox="976 725 1347 777">230</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 777 976 828">Rio Taquari</td> <td data-bbox="976 777 1347 828">86</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 828 976 880">Rio Caí</td> <td data-bbox="976 828 1347 880">54</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 880 976 931">Rio Sinos</td> <td data-bbox="976 880 1347 931">43</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 931 976 983">Rio Gravataí</td> <td data-bbox="976 931 1347 983">5</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 983 976 1034">Lago do Guaíba</td> <td data-bbox="976 983 1347 1034">56</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 1034 976 1086">Lagoa dos Patos</td> <td data-bbox="976 1034 1347 1086">258</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 1086 976 1137">Lagoa Mirim</td> <td data-bbox="976 1086 1347 1137">180</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 1137 976 1189">Canal de São Gonçalo</td> <td data-bbox="976 1137 1347 1189">75</td> </tr> <tr> <td data-bbox="549 1189 976 1303">Canal de Acesso ao Terminal Santa Clara</td> <td data-bbox="976 1189 1347 1303">7,5</td> </tr> </tbody> </table>	Nome	Extensão navegada (km)	Rio Jacuí	230	Rio Taquari	86	Rio Caí	54	Rio Sinos	43	Rio Gravataí	5	Lago do Guaíba	56	Lagoa dos Patos	258	Lagoa Mirim	180	Canal de São Gonçalo	75	Canal de Acesso ao Terminal Santa Clara	7,5	
Nome	Extensão navegada (km)																							
Rio Jacuí	230																							
Rio Taquari	86																							
Rio Caí	54																							
Rio Sinos	43																							
Rio Gravataí	5																							
Lago do Guaíba	56																							
Lagoa dos Patos	258																							
Lagoa Mirim	180																							
Canal de São Gonçalo	75																							
Canal de Acesso ao Terminal Santa Clara	7,5																							

Tabela 1-2 – Terminais na Hidrovia Sul

Rio	Nome do Terminal
Rio Jacuí	TUP COPELMI
RIO Taquari	Porto de Estrela
	TUP MITA
	TUP MOINHO TAQUARIENSE
Rio dos Sinos	TUP RIO DOS SINOS
Rio Gravataí	TUP NITERÓI
	TUP OLEOPLAN
	TUP SHV
	TUP TERGASUL
Lago do Guaíba	Porto de Porto Alegre
	TUP CMPC GUAÍBA
Lagoa dos Patos	Porto de Rio Grande
	TUP BIANCHINI
	TUP CEVAL
	TUP TERMINAL MARÍTIMO LUIZ FOGLIATTO
Canal de São Gonçalo	Porto de Pelotas
	TUP CIMBAGÉ
Canal de Acesso ao Terminal Santa Clara	TUP SANTA CLARA

Tabela 1-3 – Eclusas na Região Sul

Eclusa	Rio	Desnível	Largura	Comprimento
Amarópolis	Rio Jacuí	4.6 m	17	120
Anel de Dom Marco	Rio Jacuí	6.5 m	17	120
Bom Retiro do Sul	Rio Taquari	11.8 m	17	120
Fandango	Rio Jacuí	4.5 m	15	85
São Gonçalo	Canal de São Gonçalo	0 m	17	120

1.2. Motivação

A motivação para esse projeto é o estudo de caso de uma embarcação fluvial, que opera no Sul do país, na região da lagoa dos patos e rios afluentes, batizado com o nome de Germano Becker. A embarcação tem como objetivo transporte de granéis sólidos ou containers. Suas características principais estão abaixo na tabela 1.4. e na Figura 1.3. temos a imagem da embarcação.

Tabela 1-4 – Características Principais

Características Principais		
Comprimento Total	110.4	m
Boca	16.2	m
Pontal	5.25	m
Calado de Projeto	4.5	m
Capacidade de Carga	7371	m ³
Container	102	
Velocidade de Serviço	10	nós
Potência	3x492	kw



Figura 1-3 - Germano Becker

A principal região de operação é a lagoa dos Patos com extensão de 265 km com calado restrito de 5,0 metros, observa-se que a embarcação nessa região opera em seu limite, tendo muita influência no casco e nos seus propulsores como resultando das fontes aumentadas de vibração. Esse problema vem causando muito incomodo à sua tripulação e também vem gerando danos à sua estrutura e equipamentos.

Diversos trabalhos técnicos acadêmicos foram desenvolvidos levando em consideração a problemática de vibração, cada um dos trabalhos anteriores teve uma abordagem diferente usando softwares diferentes, nesse presente trabalho será mostrada a modelação da forma da embarcação unidimensional e tridimensional, tendo como objetivo o cálculo das 5 primeiras frequências e modos de vibração natural.

Um segundo objetivo é comparar os resultados obtidos em trabalhos anteriores com os resultados do presente estudo. Para concretizar esse objetivo serão desenvolvidos modelos 1D e 3D através do software SESAM, que tem dentro de seu pacote meios de calcular os modos de vibração. Além disso, permite realizar o cálculo da massa adicional de forma automatizada.

Sendo a principal diferença entre os trabalhos anteriores e o presente relatório é justamente como é a entrada da massa adicional é feita no modelo, em todos os trabalhos anteriores a massa adicional foi calculada mediante a utilização de correlações empíricas e inserida no modelo de forma

“artificial”, ou seja, foi imposta antes de iniciar a análise vibracional. Nesse trabalho apesar do uso do método empírico para cálculo da massa adicional, a distribuição dela será feita pelo software SESAM dentro do seu sub-programa SESTRÁ.

2. Fundamentos Teóricos para a Análise de Vibração

Qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação [1]. Um sistema vibratório inclui um meio para armazenar energia potencial, mola ou elasticidade, um meio de armazenar energia cinética, massa ou inércia e um meio de perda gradual de energia amortecedor. A vibração de um sistema envolve transferência alternada de sua energia potencial para energia cinética e de energia cinética para energia potencial.

Uma grande quantidade de sistemas práticos pode ser descrita usando um número finito de graus de liberdade, como os sistemas simples mostrados nas figuras 2-1 e 2-2.

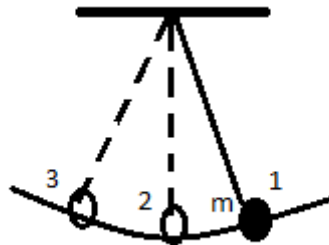


Figura 2-1 – Pendulo Simples

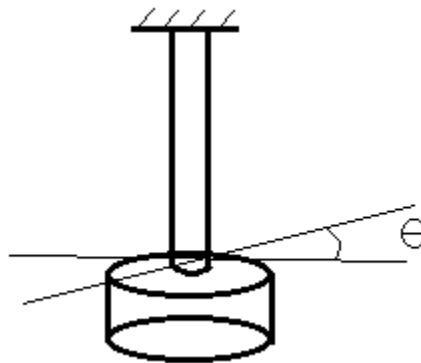


Figura 2-2 – Sistema Torcional

Alguns sistemas em especial os que envolvem elementos elásticos contínuos, têm um número infinito de graus de liberdade. Como exemplo simples, considere a viga em balanço mostrada na figura 2.3. Visto que a viga tem um número infinito de pontos de massa, precisamos de um número infinito de coordenadas para especificar sua configuração de defletida. O número infinito de coordenadas define sua curva de deflexão elástica. Assim, a viga em balanço tem um número infinito de graus de liberdade.

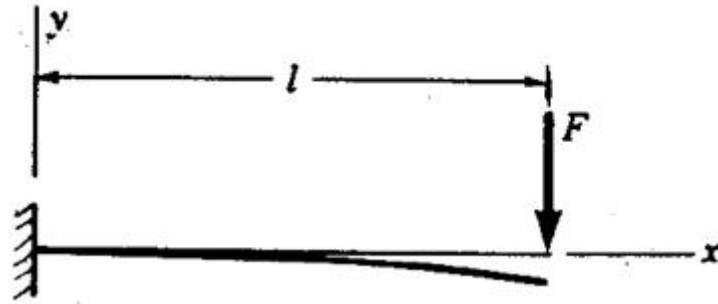


Figura 2-3 – Viga em balanço

Grande parte dos sistemas estruturais e de máquinas tem elementos deformáveis (elásticos) e, como consequência, um número infinito de graus de liberdade.

Assim, a maioria dos sistemas são contínuos e possuem infinitos graus de liberdade, mas segundo (RAO), o sistema pode ser discretizado através da utilização de massas, molas e amortecedores (parâmetros concentrados) (RAO), reduzindo dessa forma o número de graus de liberdade e só nos focando nos resultados esperados.

2.1. Classificação de Vibrações

Tem-se duas formas de sistemas vibratórios:

- **Vibração Livre** – Se um sistema, após uma perturbação inicial, continuar a vibrar por conta própria, a vibração resultante é conhecida como vibração livre. Nenhuma força externa age sobre o sistema.
- **Vibração Forçada** – Se um sistema estiver sujeito, a uma força externa (muitas vezes uma força cíclica), a vibração resultante é conhecida como vibração forçada.

Como o presente estudo está focado na identificação das frequências e modos naturais de vibração, então será feito o estudo da vibração livre.

2.2. Vibração Livre de Sistemas de 1 grau de Liberdade

Para entender o comportamento dinâmico de um navio, precisa-se primeiro entender o comportamento de um sistema de 1 grau de liberdade, assim, a partir da Figura 7, pode-se obter a equação do movimento, utilizando a segunda lei de Newton.

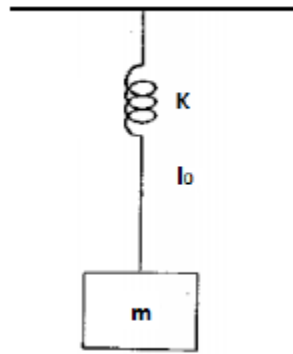


Figura 2-4 – Sistema Massa Mola

$$\sum F = ma \quad (2.1)$$

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f \quad (2.2)$$

Onde:

\ddot{x} → Aceleração

\dot{x} → Velocidade

x → Deslocamento

m → Massa do Sistema

c → Coeficiente de amortecimento

K → Constante Elástica

f → Força de Atuação externa

Para o caso de análise de vibração livre podem ser desprezados o amortecimento e a excitação externa [RAO]. Assim, a equação (2.2) pode ser expressa da seguinte forma:

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (2.3)$$

Dividindo a equação por “m” obtém-se:

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0 \quad (2.4)$$

Assumindo que a solução da equação 2.4 é harmonica:

$$x(t) = c_1 \cos(\omega_n t - \phi) \quad (2.5)$$

$$\ddot{x}(t) = -c_1 \omega_n^2 \cos(\omega_n t - \phi) \quad (2.6)$$

Fazendo as substituições na equação (2.3), temos:

$$-c_1 \omega_n^2 \cos(\omega_n t - \phi) + \frac{k}{m} c_1 \cos(\omega_n t - \phi) = 0 \quad (2.7)$$

$$-\omega^2 + \frac{k}{m} = 0 \rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.8)$$

A partir da equação (2.8) vemos que a frequência natural do sistema é uma relação entre rigidez do corpo e sua massa.

2.3. Vibração Livre de um Sistema “n” graus de liberdade

Um sistema com “n” graus de liberdade, possui “n” frequências naturais, cada uma associada a sua própria forma modal, conforme mostrado na Figura 2.5. Uma forma de simplificar uma embarcação é considerá-la uma viga, onde cada elemento estrutural do navio contribui para o módulo de seção da viga navio, com isso muitos dos cálculos podem ser simplificados, tendo essa abordagem.

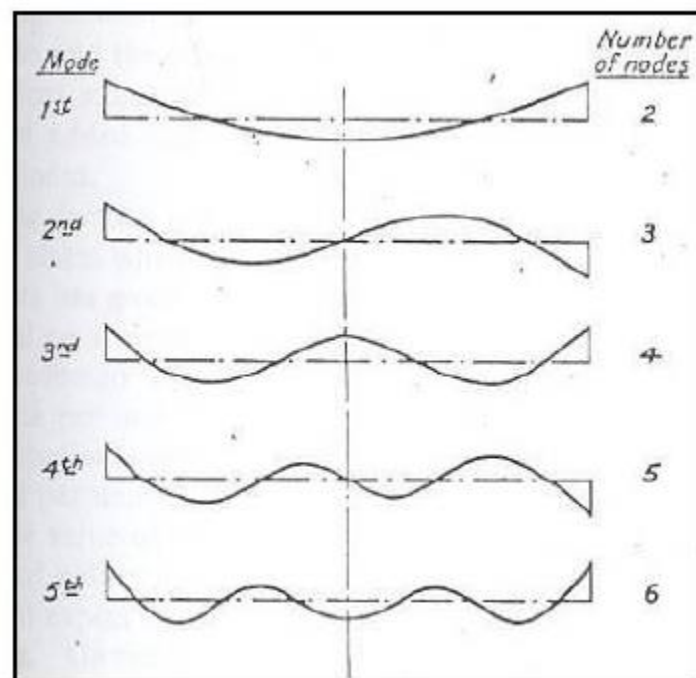


Figura 2-5 – Modo de vibração da viga navio

A resolução de um sistema com vários graus liberdade é similar ao realizado a de um grau de liberdade. A equação geral do movimento é apresentada abaixo.

$$m_i \ddot{x} = \sum F_{ij} \quad (2.9)$$

Onde:

$\sum F_{ij}$ → Somatório de todas as forças agindo no sistema

i → Grau de Liberdade

Com isso podemos apresentar um sistema na forma matricial.

$$\begin{bmatrix} m_{11} & \cdots & m_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & \cdots & m_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} \ddot{x}_1 \\ \vdots \\ \ddot{x}_n \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & \cdots & c_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \vdots \\ \dot{x}_n \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & \cdots & k_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Novamente, para o caso de vibração livre, o amortecimento e as cargas externas podem ser desprezadas, então a equação (2.10) fica expresso da seguinte forma. Como já dito anteriormente para vibração livre consideramos f igual a zero. Com isso temos novamente. Novamente, para o caso de vibração livre, o amortecimento e as cargas externas podem ser desprezadas, então a equação (2.10) fica expresso da seguinte forma. Como já dito anteriormente para vibração livre consideramos f igual a zero. Com isso temos novamente.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [k]\{x\} = 0 \quad (2.11)$$

Onde:

[M]: Matriz de inércia;

[K]: Matriz de rigidez;

{x}: Vetor de deslocamentos;

{ \ddot{x} }: Vetor de acelerações;

Adotando a separação de variáveis, a solução da equação (2.11) pode ser considerada da seguinte forma:

$$x_i(t) = X_i T(t), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.12)$$

{ X_i } → Vetor de máximas amplitudes dos deslocamentos dos graus de liberdade

$T(t)$ → Função do tempo

Substituindo a solução na equação (2.12), temos:

$$[m]\{\ddot{X}\}T(t) + [k]\{X\}T(t) = 0 \quad (2.13)$$

Na forma escalar temos:

$$\left(\sum_{j=1}^n m_{ij} X_j \right) T(t) + \left(\sum_{j=1}^n k_{ij} X_j \right) T(t) = 0; \rightarrow i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2.14)$$

$$-\frac{T(t)}{T(t)} = \frac{(\sum_{j=1}^n k_{ij} X_j)}{(\sum_{j=1}^n m_{ij} X_j)} = \omega^2; \rightarrow i = 1, 2, 3 \dots n \quad (2.15)$$

Com a equação (2.15), podemos ver que o lado esquerdo é independente do índice i e o lado direito independente do termo t . Com isso temos que o ambos os lados devem ser iguais a uma constante ω^2 .

A partir da equação (2.15) temos a equação no domínio do tempo como a seguir

$$\ddot{T}(t) + \omega^2 T(t) = 0 \quad (2.16)$$

Cuja solução pode ter a seguinte forma:

$$T(t) = C_1 \cos(\omega t + \phi) \quad (2.17)$$

Onde

$C_1 \rightarrow$ Amplitude

$\phi \rightarrow$ Ângulo de fase

Ou no domínio do espaço

$$[[K] - \omega^2[M]]\{X\} = 0 \quad (2.18)$$

A equação (2.17) é conhecida como problema de autovalores, então para ter soluções de $\{X\} \neq 0$ (solução não trivial), o coeficiente $([K] - \omega^2[M])$, não deve possuir inversa (matriz singular), então aplicando a propriedade de singularidade, tem-se:

$$\det([k] - \omega^2[m]) = 0 \quad (2.19)$$

Da equação (2.19), os valores de ω são as frequências naturais e substituindo na equação (2.17) obtém-se os vetores $\{X\}$ que representam os respectivos modos de vibração.

3. Massa adicional

A diferença de uma viga simples para a viga navio é que a segunda se encontra parcialmente submersa. Com isso a consideração envolve diretamente o conceito de massa adicional.

As reações dessas partículas sobre o corpo modificam o comportamento estrutural da viga navio, sendo, assim, necessário o considerar massa adicional, que está relacionado com a profundidade do meio fluido e do formato do corpo analisado.

O efeito de massa adicional foi inicialmente identificado por Dubua em 1776, devido a que os resultados dos cálculos das forças hidrodinâmicas atuantes em um objeto em movimento num fluido considerado incompressível e não viscoso foram distintos dos resultados experimentais. Contudo, as primeiras expressões matemáticas obtidas para a massa adicional de uma esfera foram desenvolvidas por Green em 1833 e Stokes em 1843. A partir daí vários pesquisadores desenvolveram diferentes expressões e coeficientes para o cálculo da massa adicional de um corpo arbitrário.

Majoritariamente, os cálculos são desenvolvidos usando a analogia com uma seção transversal de um cilindro de seções retangulares, circulares e elípticas, devido à simplicidade de suas formas e considerando o corpo flutuando em um fluido infinito, sem interferências de

superfícies próximas. Posteriormente é realizada a correção para a seção do navio através do método da Transformação Conforme, que será abordada no item 3.1.

Para o projeto em questão será considerada a seção transversal de um navio. Com o conhecimento do escoamento do fluido ao redor do casco é possível fazer o cálculo da massa virtual, através do cálculo de energia cinética do sistema, considerando o movimento do corpo flutuante e das partículas fluídas.

3.1. Coeficiente de massa adicional

Os coeficientes de massa adicional serão determinados utilizando a seção transversal da embarcação. Durante o avanço da embarcação na água vemos que o fluido desloca-se para possibilitar o deslocamento do navio, ao fim da perturbação causada pelo navio vemos que o fluido retorna para a posição onde o navio acabou de passar, com isso observa-se que o fluido executa um movimento oscilatório, que gera uma reação em cadeia para todo fluido.

Através da Figura 3.1 podemos determinar a energia cinética do sistema.

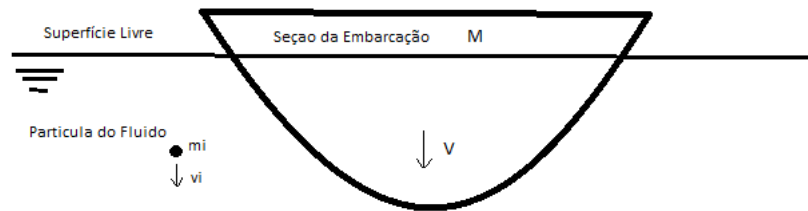


Figura 3-1 – Movimento Vertical da Seção da Embarcação e da Partícula do Fluido

$$E_C = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{\infty} m_i v_i^2 \quad (3.1)$$

M → Massa da Embarcação

V → Velocidade vertical da embarcação

m_i → Massa da Partícula

v_i → Velocidade vertical da partícula

Na equação (3.1) temos a primeira parcela como sendo referente ao movimento a seção da embarcação enquanto a segunda parcela se refere ao movimento das partículas fluídas. Podemos assim.

$$E_C = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}M'v^2 = \frac{1}{2}(M + M')v^2 \quad (3.2)$$

O cálculo referente a M' , chamada massa adicional varia de acordo com as características da seção ou seja varia de acordo com a forma (boca, calado) e das propriedades do fluido.

Para execução desse cálculo, primeiramente considera-se um seção simples de um cilindro de raio “r”, parcialmente submerso em um fluido de densidade ρ , flutuando com seu centroide coincidindo com a altura da linha d’água. Admite-se que o cilindro oscila verticalmente e que seu movimento possui pequena amplitude.

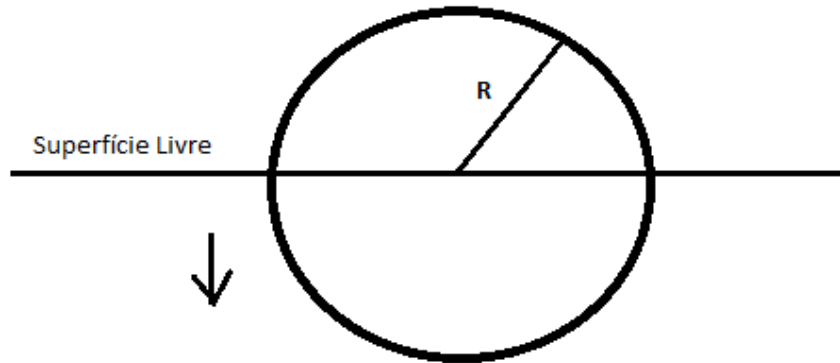


Figura 3-2 – Cilindro com movimentos verticais

$$M' = \rho\pi R \quad (3.3)$$

Assim, o valor da massa adicional por unidade de comprimento do cilindro com metade do seu volume submerso e levando-se em consideração o comprimento do cilindro, tem-se:

$$M' = \frac{1}{2} \int_0^L \rho\pi r^2 dr \quad (3.4)$$

A equação (3.4) leva-nos a considerar que a massa do fluido deslocada é numericamente igual à massa do cilindro. Com isso temos a dimensão da importância das considerações da massa adicional. Que no presente caso, representa um acréscimo de 100/% da sua massa total.

Para situações que levamos em consideração as seções de navios, não é possível usar de forma direta as aproximações obtidas através do cilindro, devido à falta de clareza da forma, ou seja, essas seções não apresentam cilindros nem esferas perfeitas. Dessa forma diversos pesquisadores propuseram o uso de Transformação Conforme, onde são determinados os resultados para seções típicas do navio a partir dos resultados de uma seção circular.

Esse método considera o escoamento em torno do cilindro e o transforma para um escoamento em torno de uma seção com outra forma, de modo que a energia cinética do movimento seja obtida e, portanto, determinada a massa adicional da seção considerada, a expressão que representa ocasionada pelo movimento vertical da seção, por unidade comprimento, é dada por:

$$M' = \lambda_{33} = \rho \frac{\pi B^2}{8} K_{33} \quad (3.5)$$

ρ → Massa específica do fluido kg/m³

B → Boca da embarcação

K_{33} → Coeficiente de massa adicional vertical, baseado na transformação Conforme

Após calcular os coeficientes de correção massa adicional para cada seção devemos levar em consideração que o escoamento real em torno do casco é tridimensional e não bidimensional, conforme calculado.

Townsin (1968) propôs uma correção através de uma formulação que utiliza o parâmetro J , apresentado a seguir:

$$J_n = 1.02 - 3 \left(1.2 - \frac{1}{n} \right) \frac{B}{L} \quad (3.6)$$

Onde:

n → Número de nós de cada modo de vibração considerado

B → Boca da seção considerada

L → Comprimento entre as perpendiculares

Quanto maior o numero de nós associados ao modo de vibração menor será o valor de J_n . A seguir serão apresentados alguns métodos para calcular k_{33} .

3.2. Águas Profundas

Para considerações em águas profundas vamos mostrar as formulações desenvolvidas no trabalho de Landweber (1967) e nos gráficos desenvolvidos pelo mesmo, de modo a realizar o cálculo da massa adicional para águas profundas, ou seja, que não tem influência de superfícies próximas. São utilizados gráficos e tabelas que tem como parâmetros o coeficiente de área β .

$$\beta = \frac{S}{BT} \quad (3.7)$$

Onde:

S → Área submersa da seção

B → Boca da seção considerada

T → Calado da Seção

A Figura 3.3 apresenta os parâmetros necessários para o cálculo do coeficiente de massa adicional.

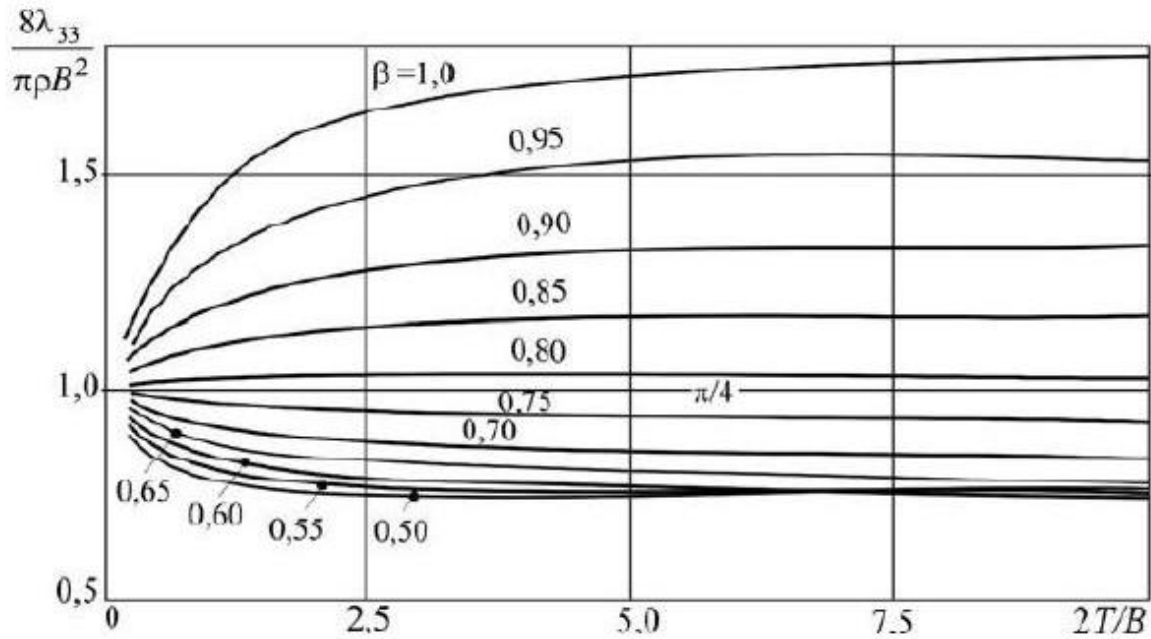


Figura 3-3 – Curvas da massa adicional para águas profundas

3.3. Águas Rasas

Os coeficientes de correção de massa adicional vertical para águas rasas levam em consideração o coeficiente de área β e a razão entre a profundidade, onde está operando a embarcação, e o calado.

Prohasky desenvolveu através de análises, considerando pequenas amplitudes de oscilação, curvas do coeficiente de acordo com o coeficiente de área de cada seção β e razão de profundidade (h) e o calado (T). Os dados obtidos foram plotados como mostrado na Figura 3.4.

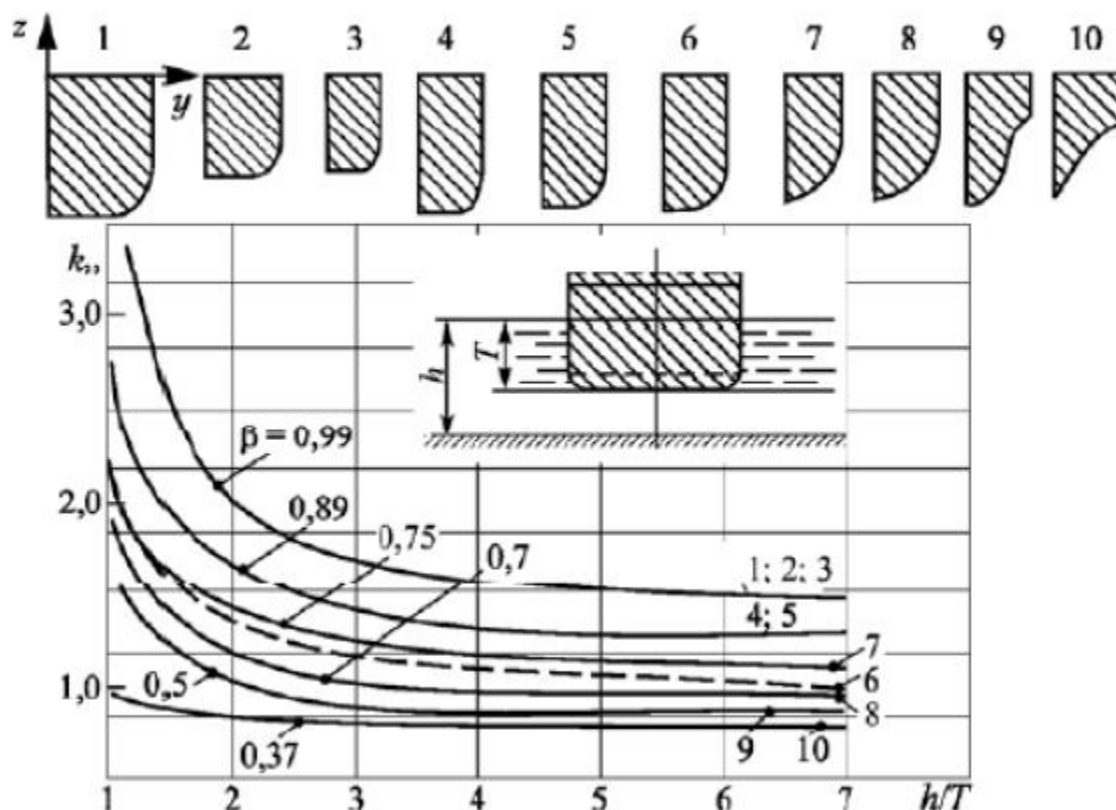


Figura 3-4 – Curva de massa adicional para águas rasas

Como se pode notar, o gráfico apresentado acima possui pontos que relacionam diferentes seções, apresentada na parte superior do gráfico e ordenadas de 1 a 10, as curvas dos β correspondentes. Em seções mais retangulares, o valor de β é alto, enquanto nas seções mais finas β se apresenta com valores menores.

De um modo geral, espera-se que os valores de massa adicional para águas rasas sejam maiores do que em águas profundas, uma vez que os valores dos gráficos diferem. Enquanto no caso de águas profundas eles variam até aproximadamente um valor máximo de 1.5, o para águas rasas alcança valores máximo de aproximadamente 3.

3.3.1. Método de Cálculo pelo SESAM

Objetivo principal do presente projeto é a validação do SESAM, para uso nos laboratórios, dessa forma, deve haver uma comparação dos valores encontrados no SESAM e de outro trabalho que use um diferente programa e use mesmo barco. Dessa forma mais afrente será apresentado os valores de saída do SESAM junto com os valores obtidos no projeto do Brasil [2], bem como as frequências de cada modo. No programa SESAM, temos a seguinte forma de calcular a massa adicional.

3.3.1.1. Técnica de elementos de contorno.

Determinação da massa adicional é através da teoria da hidroelasticidade, uma forma bastante interessante de se considerar este efeito, cujo conceito utiliza a técnica dos elementos de contorno (Boundary Elements Method -BEM), onde a interação casco-fluido emprega a utilização de painéis hidrodinâmicos como elementos de fronteira. Estes painéis são modelados separadamente, tendo como referência o casco da parte molhada do navio, e os valores das forças em cada painel são determinados a partir do potencial linear distribuído ao longo dos nós dos painéis.

3.3.1.2. Cálculo usando o SESAM

Tendo o modelo gerado usando suas seções, utilizando as seguintes condições de contorno, informações sobre o fluido Figura 3-5, determinação o tipo de análise no caso Linear Structural Analysis Figura 3-6, informações sobre o fundo, profundidade, material (lama, concreto, areia, etc) Figura 3-7, método de resolução Figura 3-8.

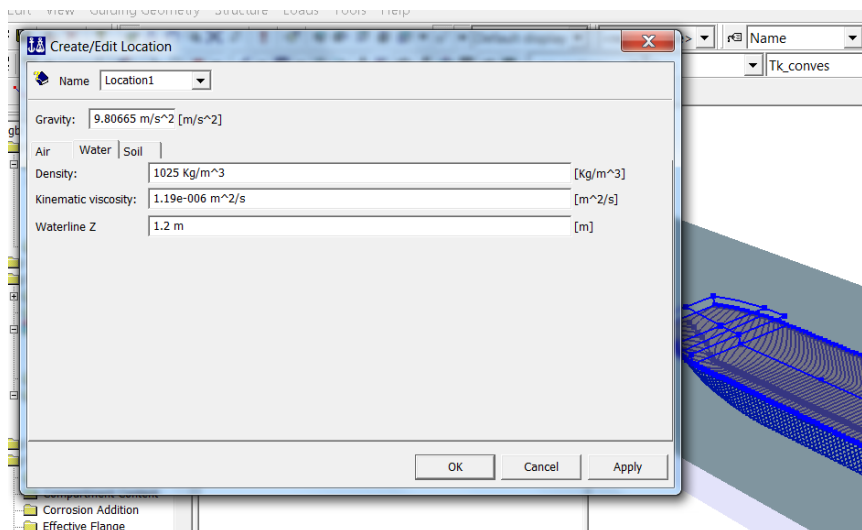


Figura 3-5 - Entrada das informações sobre o fluido

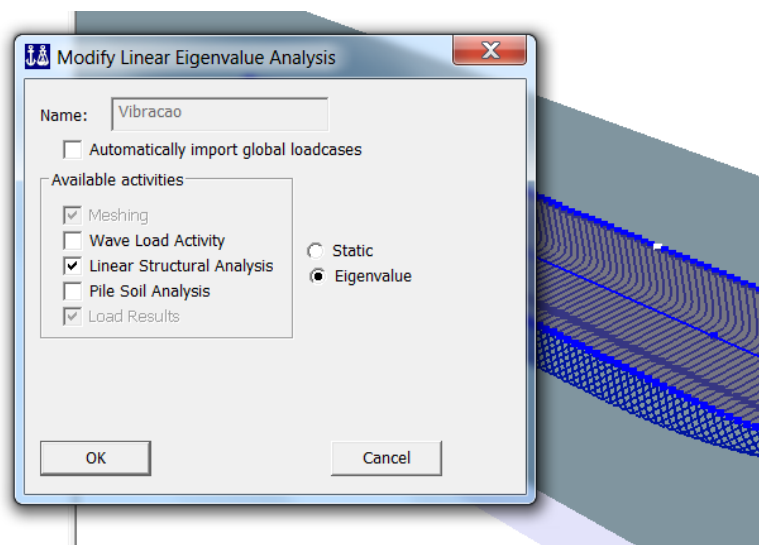


Figura 3-6 –Entrada do modo linear de análise

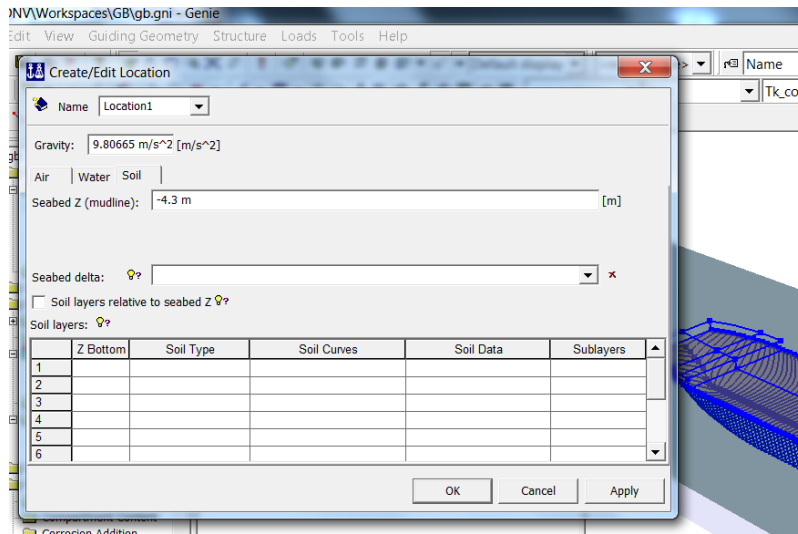


Figura 3-7 - Entrada de informações do fundo

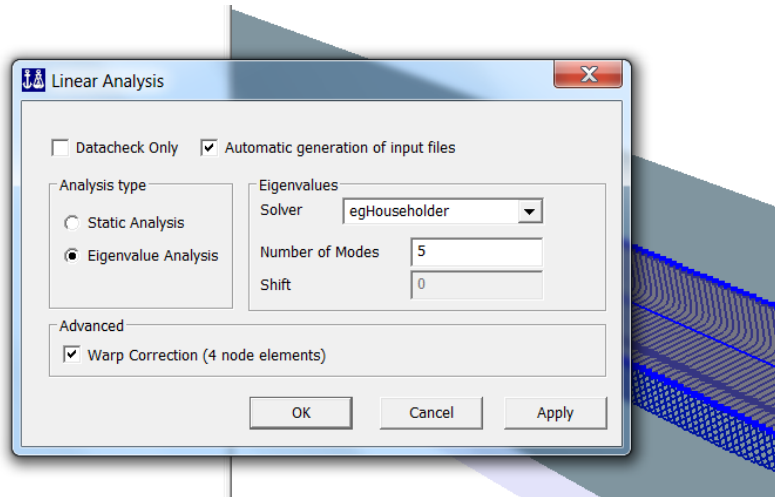


Figura 3-8 – Método de Resolução

4. Modelo Tridimensional e Unidimensional

O método escolhido para este estudo é o método dos elementos finitos. Este método é o mais popular, pois possibilita fazer estudos de estruturas simples e complexas e ainda permite realizar diversas análises como, análise estrutural vibracional, entre outros.

No método de elementos finitos (FEM – Finte Element Method) as estruturas são substituídas por uma série de elementos, que se comportam como um membro estrutural contínuo, chamados de elementos finitos, sendo conectados através de nós.

Dentro dos procedimentos para modelação por elementos finitos para análise de um navio, tem-se análise unidimensional e análise tridimensional. A análise de vibração a partir de modelos tridimensionais muitas vezes toma muito tempo computacional. Para isso serão desenvolvidos dois modelos (1D e 3D) afim de validar a confiabilidade dos resultados.

4.1. Modelo Unidimensional

De modo simplificado foi gerado um modelo que possui 185 nós, posicionados na coordenada longitudinal das cavernas consideradas e no limite de vante da embarcação (110 m). Entre cada par de nós foram criados elementos de viga de forma a representar a rigidez estrutural da embarcação, tendo um total de 184 elementos.

As propriedades das seções foram inseridas no programa GENIE, e seu subprograma Section Scantling, foram utilizados os valores obtidos por [1] e amostrados no anexo I.

A fim de simplificar o trabalho e evitar atividades repetidas desnecessárias, na região de ré foram feitas todas as seções até região de início do corpo paralelo, nesse ponto passou-se a considerar todas iguais e foi modelada apenas uma seção que é a seção mestra.

Os modelos seguem o sistema Internacional de unidades (SI). O sistema coordenadas adotado foi o seguinte:

- Eixo X – Longitudinal positivo de popa para proa
- Eixo Y – Transversal positivo de boreste para bombordo
- Eixo Z – Vertical positivo de baixo para cima

O aço utilizado, tem as seguintes propriedades:

- Modulo de Elasticidade (E) 210 GPa
- Coeficiente de Poisson (ν) 0,3
 - Massa especifica – 7850 Kg/m³

Apesar de termos conhecimento que a embarcação possui variados graus de aço, para fins de simplificação aço com as mesmas propriedades, só variando as espessuras quando necessário.

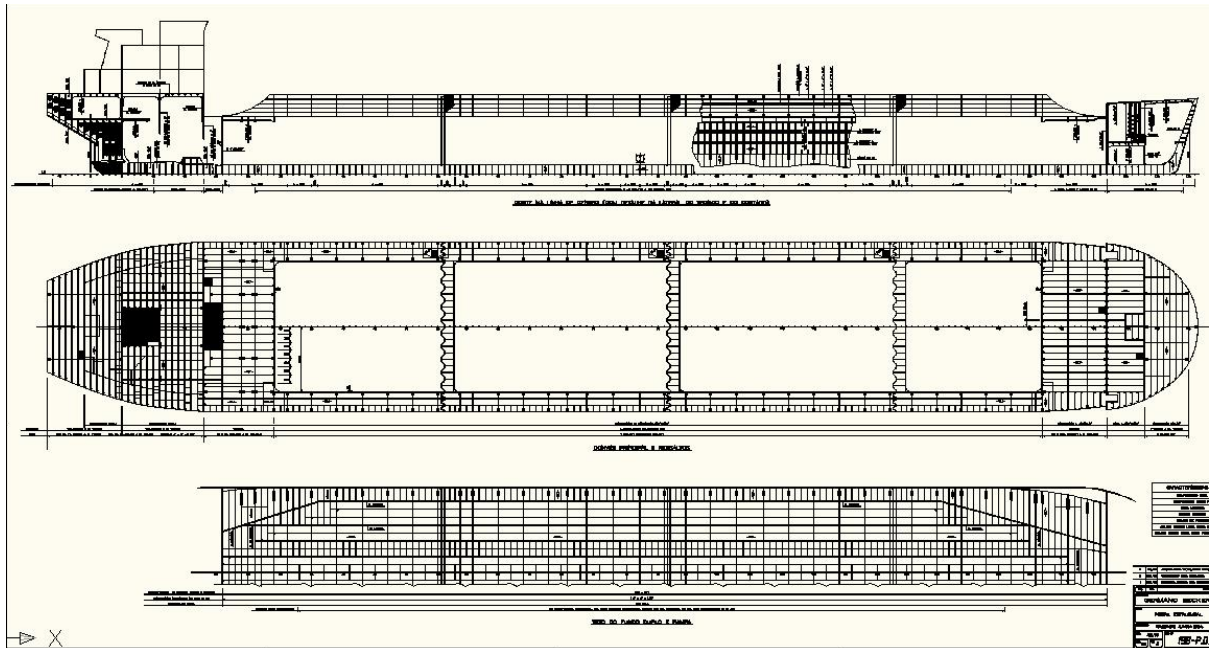


Figura 4-1 – Arranjo Geral

4.2. Modelo Tridimensional

As propriedades dos elementos foram obtidas através do programa GENIE, e seu subprograma Section Scantling onde foi modelado a embarcação em 3D, como as seções já haviam sido modeladas aproveitou-se suas propriedades de modo a gerar a viga, as seções foram criadas a partir dos desenhos em CAD dos planos da embarcação em questão. A tabela utilizada da referência Brasil [1] está no anexo II.

A estrutura deste modelo constituiu-se de elementos de placa e de viga para representar a estrutura. A modelação 3D consiste em representar a sua estrutura simétrica a um plano vertical ao longo do seu eixo longitudinal, transformando adequadamente suas propriedades físicas. A malha deve ser idealizada de maneira que os nós, e conseqüentemente as fronteiras dos elementos, coincidam o máximo possível com aspectos importantes da estrutura, como anteparas, conveses, cavernas, pisos, etc.

5. Cálculo da Massa adicional

Nesse projeto a massa total da embarcação é o somatório da massa da embarcação mais a massa adicional que já foi discutida no item 5 desse trabalho. A massa estrutural do modelo foi obtida inserindo-se a massa específica na definição do material. Isso é feito para que as análises realizadas devem levar em consideração o deslocamento do navio.

O cálculo da massa adicional foi realizado pelo programa SESAM, através do SESTR, os dados de entrada foram, o calado utilizado 4.5 m e mais 0.5 de profundidade, de modo a reconhecer

e facilitar as comparações futuras entre os cálculos dos dois programas foi usado o método de águas rasas *Método de Prohasky* e no SESAM o método Boundary Elements Method –BEM, que usa a teoria de Hidroelasticidade, foi utilizado o método. Para cada modo de vibração o programa executou as correções necessárias. A tabela apresenta os valores de cada massa adicional calculada para seu respectivo modo de vibração.

Tabela 5-1 – Massa adicional

	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5
SESAM	17433,34 kg	16402,01 kg	15316,91 kg	14740,67 kg	13502,3 kg

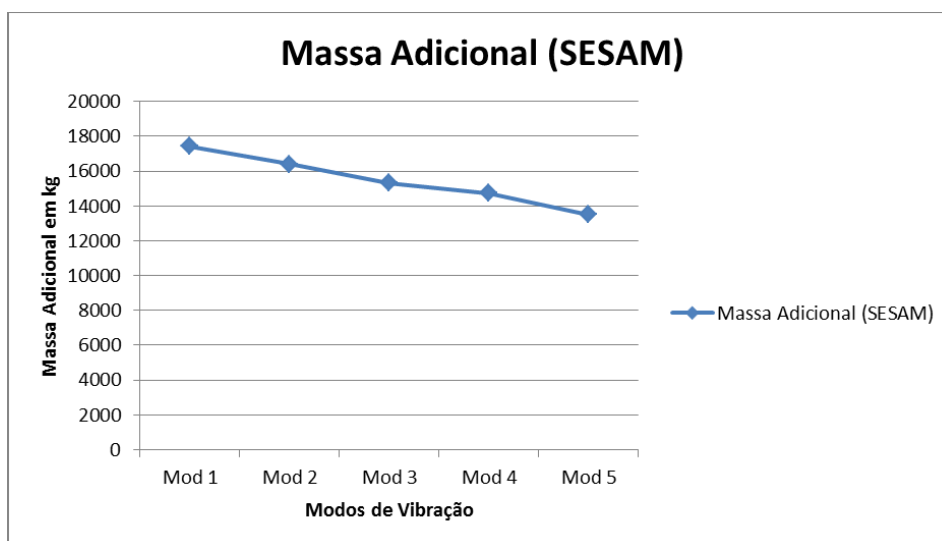


Figura 5-1 - Gráfico com as massas adicionais

6. Resultados

Com modelo pronto e sua massa adicional calculada e distribuída foi possível calcular os modos de vibração através do SESTR.

Os parâmetros para os cálculos dos modos naturais foram uma varredura de frequências partindo de 0,01 Hz (de forma a evitar os modos de vibração dos seis graus de liberdade de um elemento rígido) e dos 20 primeiros autovalores e autovetores, visto que há modos diferentes dos verticais como saída das análises.

Nas figuras 6.1 a 6.10 é apresentada cada um dos modos de vibração e na tabela 6.1 os valores de cada vibração.

Tabela 6-1 – Frequências

Frequências (Hz)			
Modo	Modelo 1D	Modelo 3D	Aproximação
1	0,781	0,726	92,96%
2	1,793	1,473	82,15%
3	2,932	2,531	86,32%
4	4,321	3,463	80,14%
5	4,83	4,018	83,19%

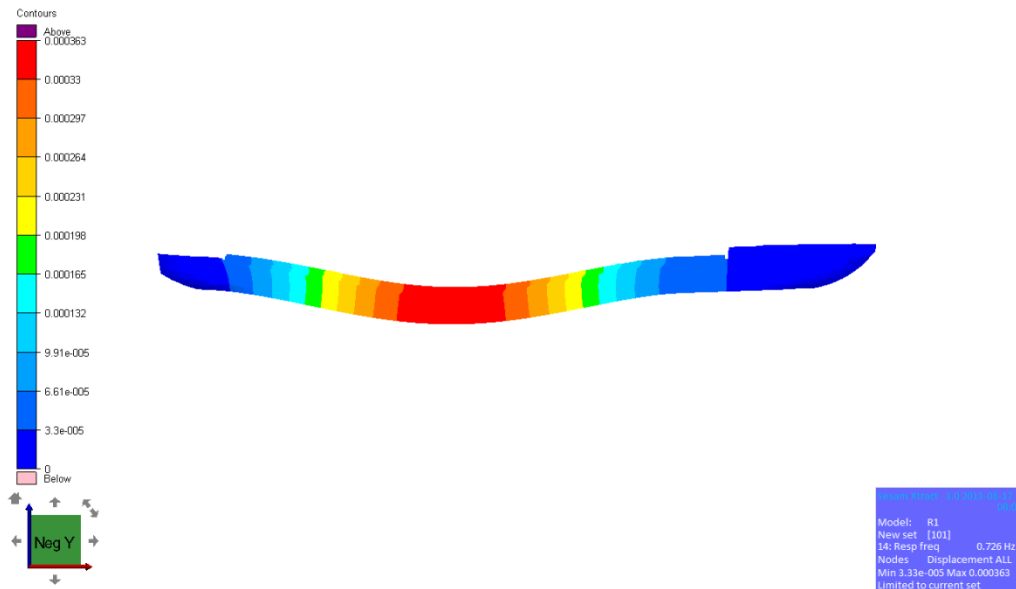


Figura 6-1 – Modo de vibração 1 3D

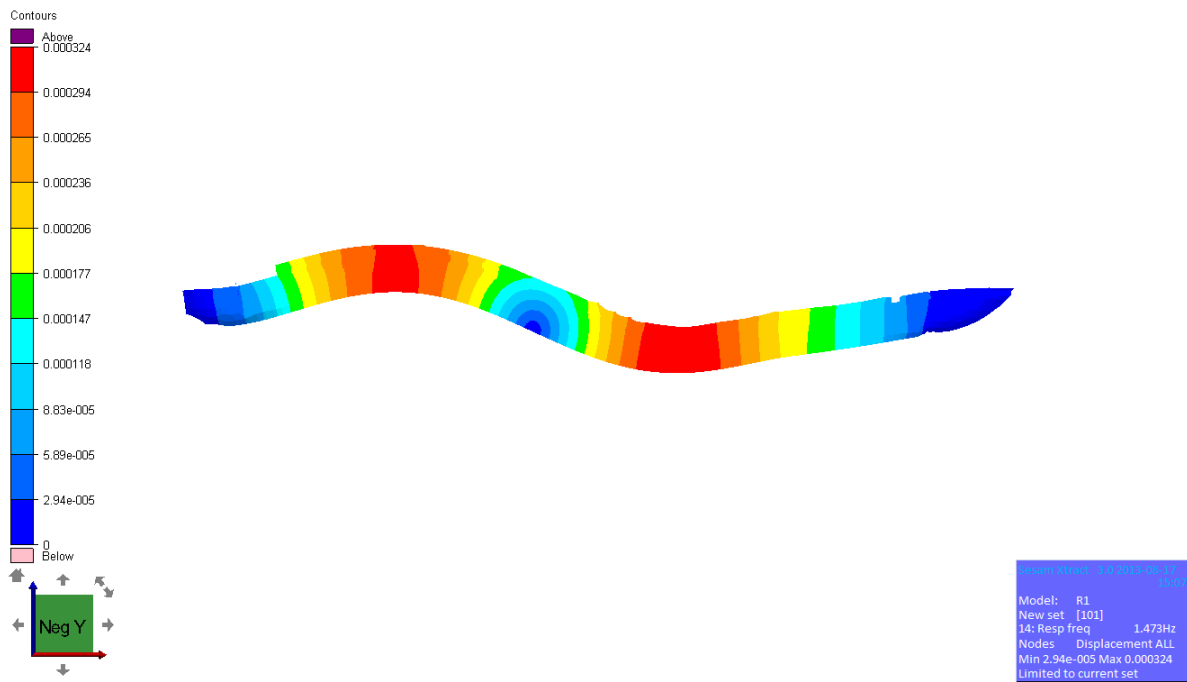


Figura 6-2 – Modo de Vibração 2 3D

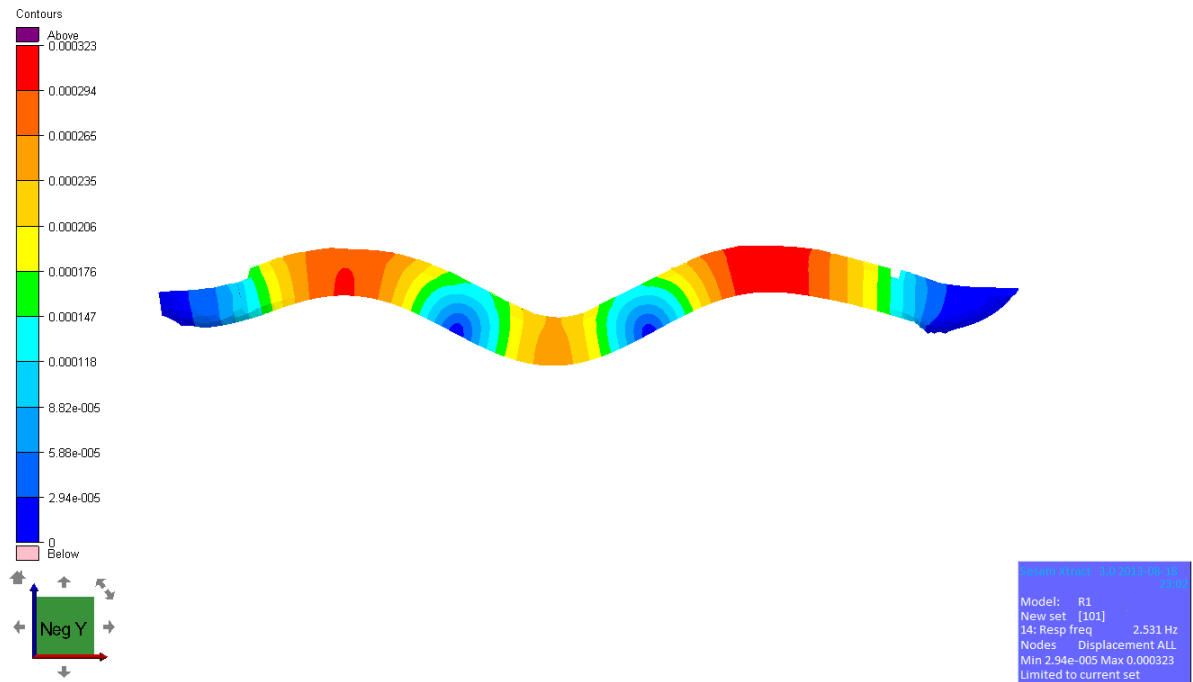


Figura 6-3 – Modo de Vibração 3 3D

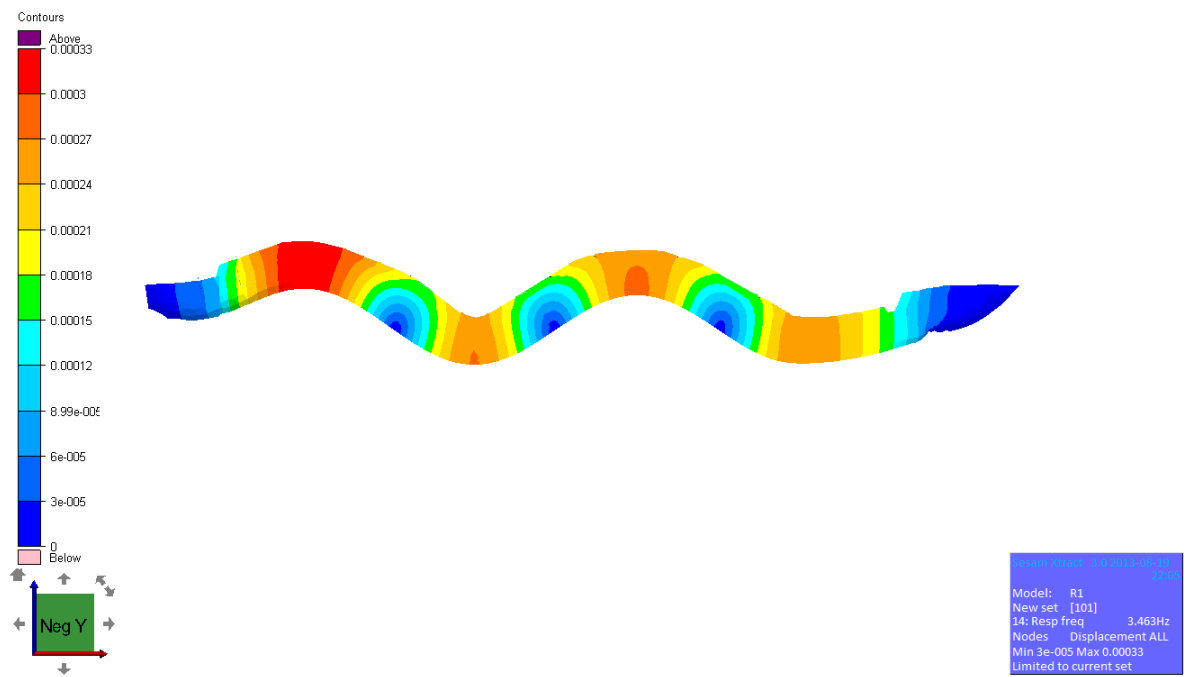


Figura 6-4 – Modo de Vibração 4 3D

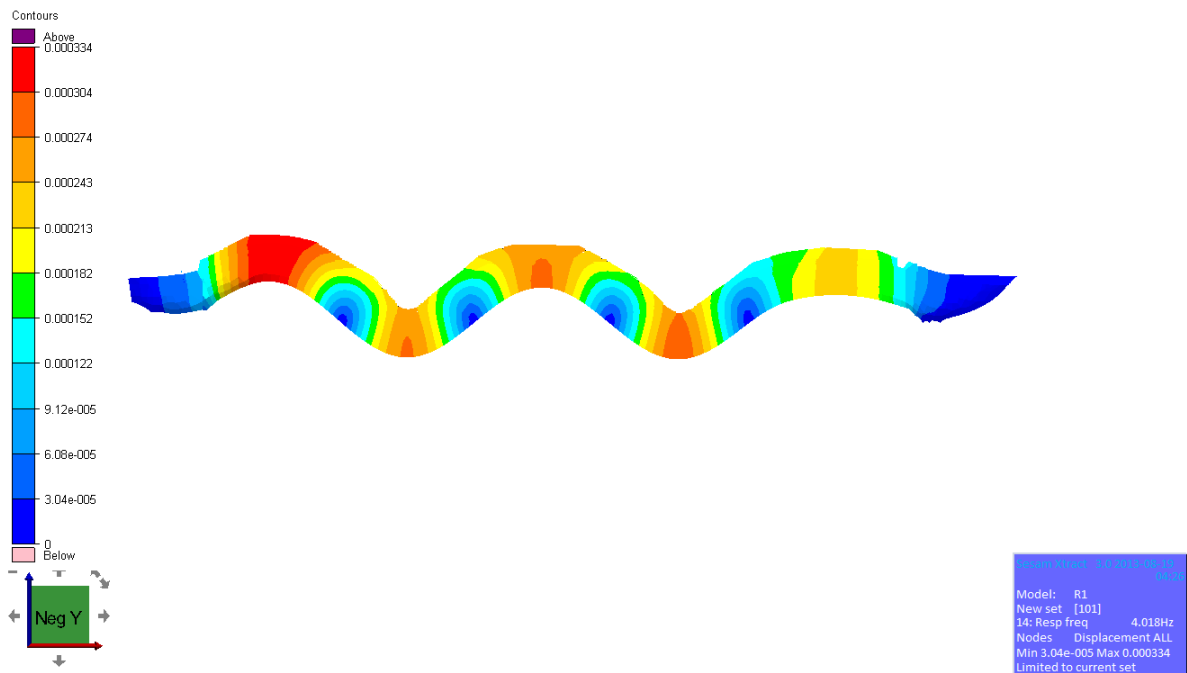


Figura 6-5 – Modo de Vibração 5 3D

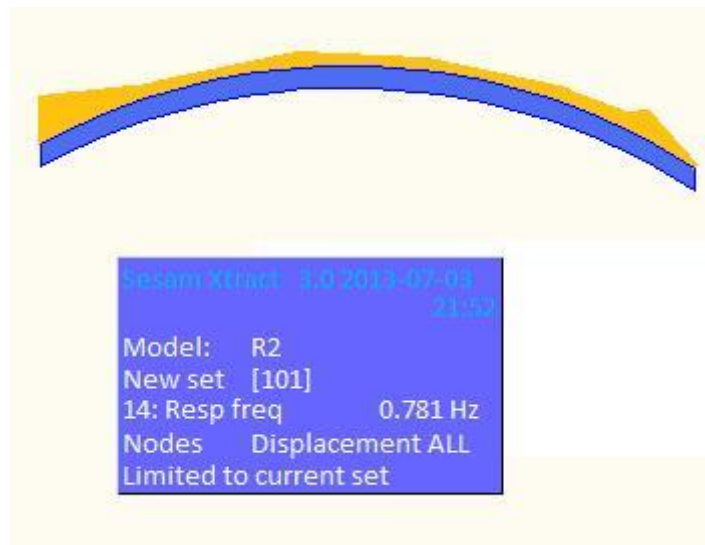


Figura 6-6 – Viga modo de vibração 1



```
Sesam Xtract 3.0 2013-07-03 20:52
Model: R2
New set [101]
14: Resp freq 1.793 Hz
Nodes Displacement ALL
Limited to current set
```

Figura 6-7 – Viga modo de vibração 2



```
Sesam Xtract 3.0 2013-07-03 21:26
Model: R2
New set [101]
14: Resp freq 2.932 Hz
Nodes Displacement ALL
Limited to current set
```

Figura 6-8 – Viga modo de vibração 3



```
Sesam Xtract 3.0 2013-07-25 23:03
Model: R2
New set [101]
14: Resp freq 4.321 Hz
Nodes Displacement ALL
Limited to current set
```

Figura 6-9 – Viga modo de vibração 4

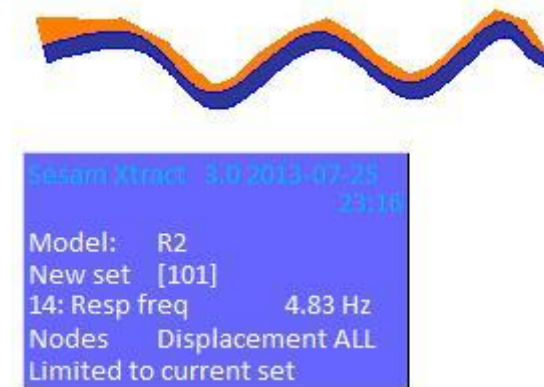


Figura 6-10 – Viga modo de vibração 5

7. Comparações

O principal objetivo do presente trabalho é validar o SESAM, para uso nos laboratórios. Essa verificação é feita através da comparação de resultados obtidos através do SESAM e outros trabalhos que utilizaram outros pacotes comerciais para realizar o cálculo das 5 primeira frequência e modos de vibração natural. O trabalho utilizado como balizamento dos resultados do SESAM é o trabalho feito pelo Brasil [2] e pelo modelo 3D feito pelo Professor Ricardo Homero.

Com posse desses dados podemos fazer inicialmente a comparação com as massas adicionais calculadas no SESAM e fora. Na tabela 7.1 apresenta as comparações de massa adicional, em seguida na figura 7.1 o gráfico de comparação de massa adicional, tabela 7.2 os modos de vibração e sua comparação, nas figuras 7.2 e 7.3 temos os gráficos com os valores de cada relação de modo de vibração 1D e 3D.

Tabela 7-1 – Massa Adicional

	Mod 1 (kg)	Mod 2 (kg)	Mod 3 (kg)	Mod 4 (kg)	Mod 5 (kg)
SESAM	17433,34	16402,01	15316,91	14740,67	13502,3
Brasil	19021,67	17899,24	17225,01	16775,92	16634,64
%	91,65%	91,64%	88,92%	87,87%	81,17%

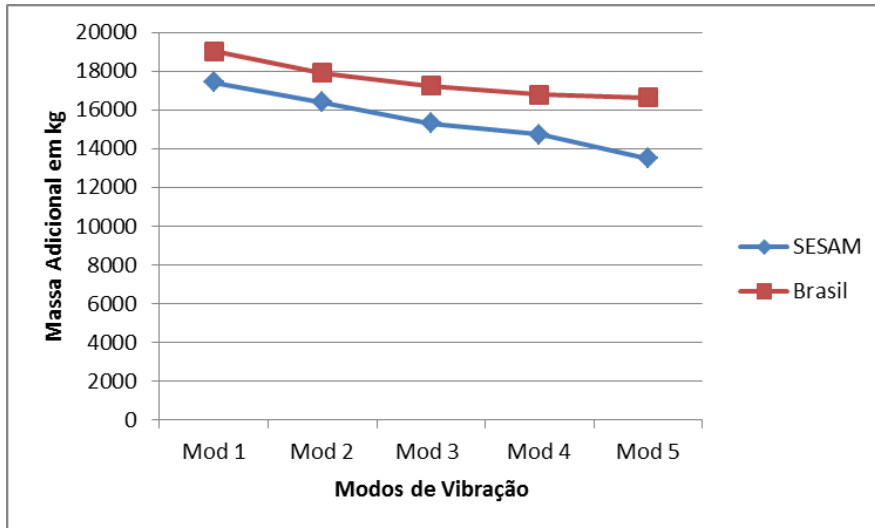


Figura 7-1 – Gráfico de comparação das massas adicionais

Tabela 7-2 – Modo de Vibração

Modo	Frequência em (Hz)					
	1D	1D SESAM	Aproximação	3D	3D SESAM	Aproximação
1	0,727	0,781	93,09%	0,657	0,726	90,50%
2	1,734	1,793	96,71%	1,531	1,473	103,94%
3	2,884	2,932	98,36%	2,44	2,531	96,40%
4	4,129	4,321	95,56%	3,382	3,463	97,66%
5	4,664	4,83	96,56%	4,32	4,018	107,52%

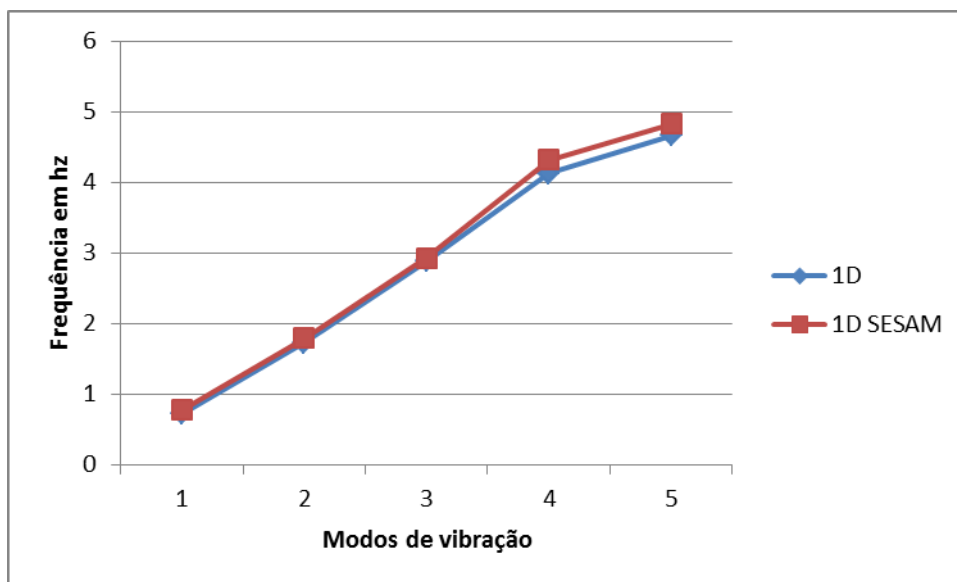


Figura 7-2 – Gráfico de comparações de modo de vibração 1D

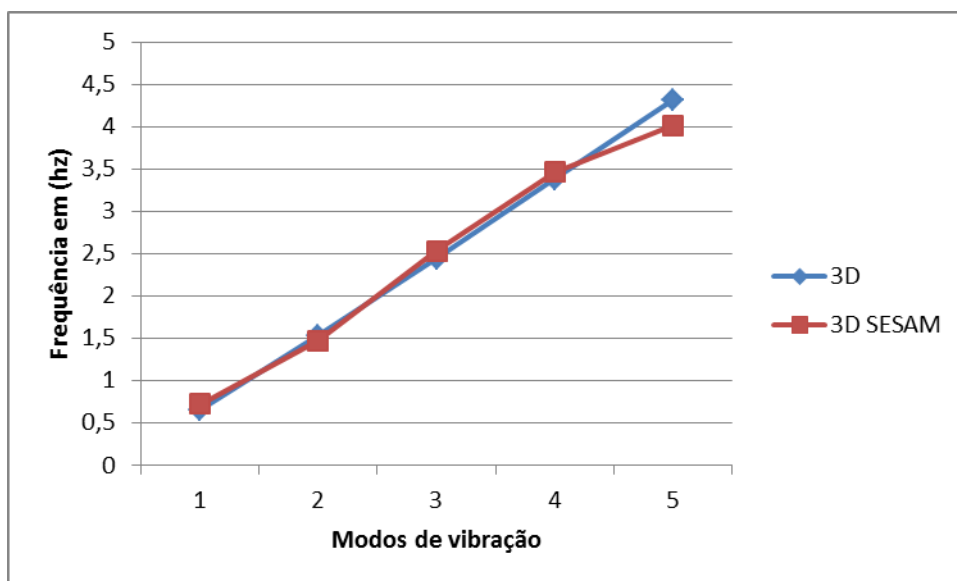


Figura 7-3 – Gráfico de comparação dos modos de vibração 3D

Através dos resultados apresentados acima, é possível observar que o SESAM atende as expectativas quanto à capacidade de calcular e resolver problemas de vibração, todos os valores estão próximos e com diferenças menores que 17% em todos os casos analisados.

8. Conclusão

Através da modelação computacional tanto 1D quanto 3D foi possível validar o Software SESAM para uso, tendo esta ferramenta para realizar cálculos de alta complexidade que a engenharia naval necessita e tendo também como base uma sociedade classificadora com mais de 100 anos de experiência, resultando, assim, em cálculos e análises com alto índice de confiabilidade e precisão.

Ao compararem-se os resultados entre os modelos unidimensional e tridimensional encontraram-se valores distanciados de no máximo 17%. Essa diferença era esperada, uma vez que a modelação tridimensional se apresenta como uma forma mais fiel da realidade em detrimento da modelação do navio como uma viga. Além disso, o modelo unidimensional foi desenvolvido mantendo-se um formato de caverna para cada trecho. Essa diferença poderia ser diminuída se as cavernas fossem modeladas integralmente ou com repetições de formato em trechos mais curtos, se fosse incluída a modelação do fundo duplo e a consideração das aberturas de convés correspondentes às tampas de escotilha, quebrando sensivelmente a continuidade estrutural longitudinal da viga navio e por fim uma análise mais profunda do tipo de malha utilizada na modelação tridimensional, já que a mesma tem grande influência na determinação dos resultados.

É recomendado que num futuro realiza-se um estudo completo comparando os resultados numéricos encontrados com os resultados experimentais do navio utilizado como estudo de caso.

Com isso, poderia atestar a eficiência do software utilizado para encontrar os valores das massas adicionais, e conseqüentemente das frequências naturais e correspondentes.

9. Referências Bibliográficas

- [1] Rao, S., “Vibrações Mecânicas”, 4 ed São Paulo, 2008
- [2] Brasil, R.S. – “Efeitos da Massa Adicional em Águas Rasas na Análise de Vibração de Embarcações”
- [3] LANDWEBER, L., MACAGNO, M.C., Added Mass of Two-Dimensional Forms Oscillating in a Free Surface, *Journal of Ship Research*, pp 20-30, June 1967.
- [4] Troyman, A. C. R., Conceição, C. A. L., “Shear Effective Area and Shear Center of Ships Cross Sections”, *Brazilian Journal of Engineering, RBE, Naval Engineering Periodical*, Vol 4 Ner 1 (1987).
- [5] Neto, Severino Fonseca da Silva (1981) – “Aplicação do Método da Matriz de Transferência na Estimativa das Frequências Naturais de Vibração do Navio”.
- [6] Silva Neto, S.F. – “Apostila de Máquinas Marítimas III” – UFRJ – Departamento de Engenharia Naval e Oceânica – 2008.
- [7] Troyman, Antonio Carlos R.; Lopes, Tiago Alberto P. – “Apostila de Vibrações do Navio” – Laboratório de Estruturas Navais, COPPE/UFRJ.
- [8] Korotkin, Alexandr I, 2007, *Added Mass Of Ship Structures*. 2 ed. Springer.
- [9] Agência nacional de transporte aquaviário (ANTAQ). www.antaq.gov.br
- [10] TOWNSIN, R.L., Virtual Mass Reduction Factors J' Values for Ship Vibration Calculations Derived from Tests with Beams Including Ellipsoids and Ship Models, RINA, December, 1968

I. Anexo

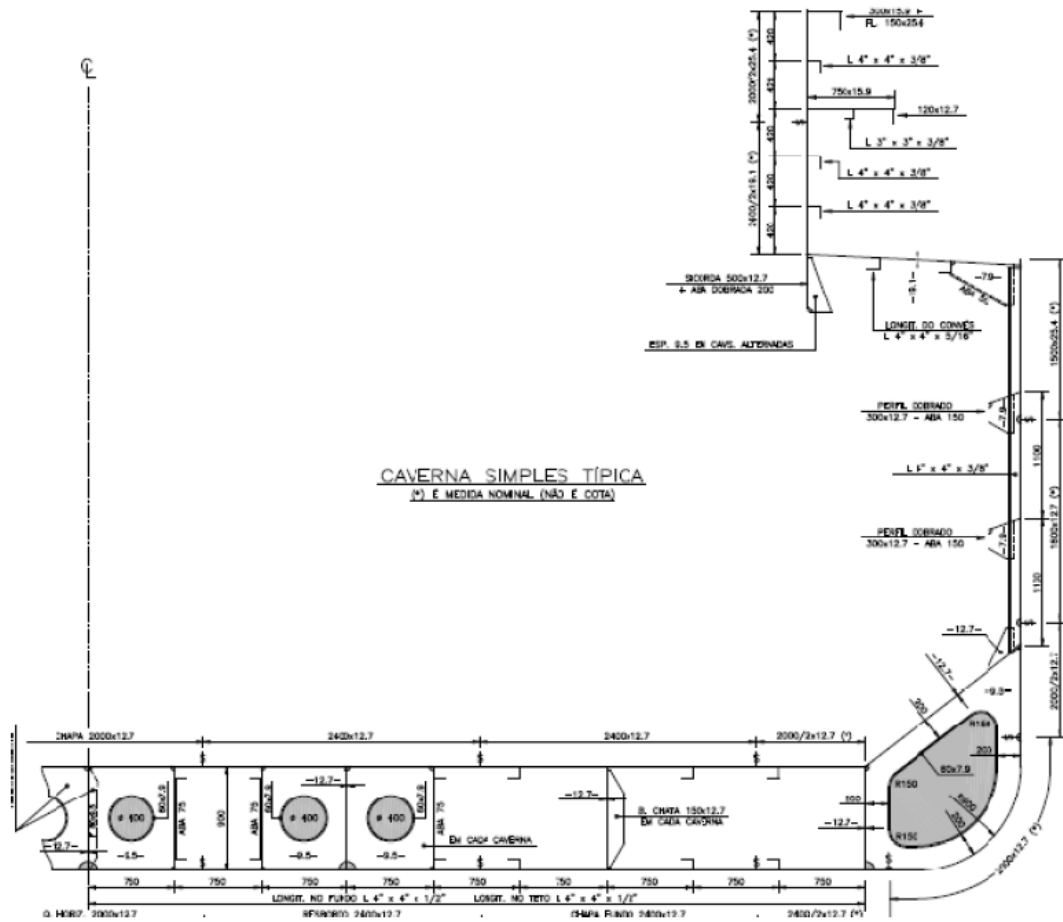


Figura I-1 – Seção Mestra

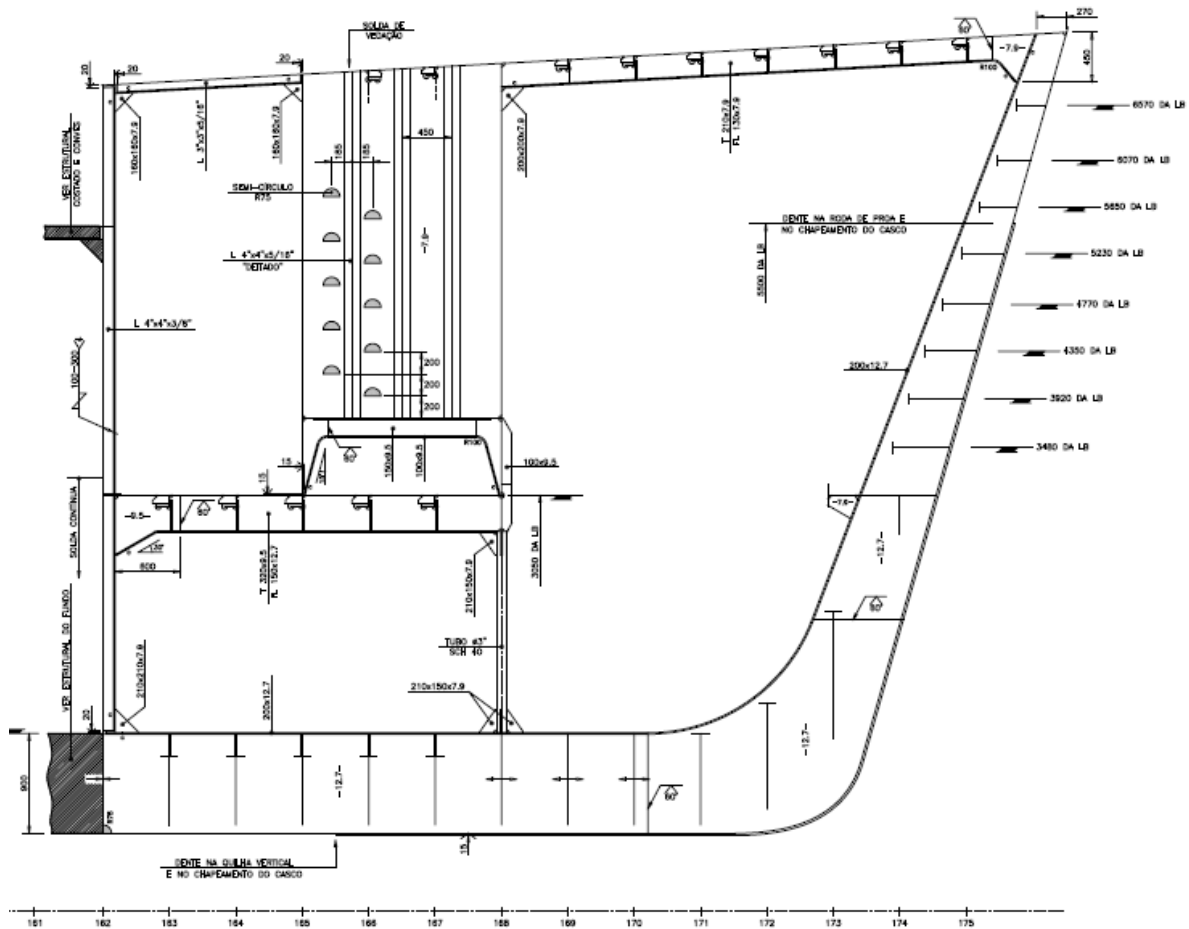


Figura I-2 – Seção de Vante

File About Mars...

General

Notations & Main Data

Moments & Draughts

Bow Flare

Materials

Frame Locations

Hopper Wells

Polar Class - General

Polar Class - Hull Areas

Calculations & Print

- Main material

Ship built in: **Steel**

Reference Young Modulus: 206000 N/mm²

Drag and drop zone icon to the relevant line

- Materials

FOR ALUMINIUM, WELDED CONDITION TO BE CONSIDERED

	Material type	Yield Stress (N/mm ²)	Young modulus (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)	Bottom zone	Neutral axis	Deck zone
1	Steel	315.0	206000.0				
2	Steel	355.0	206000.0				
3							
4							
5							
6							

Figura I-3– Entrada de informações Sections Scantling

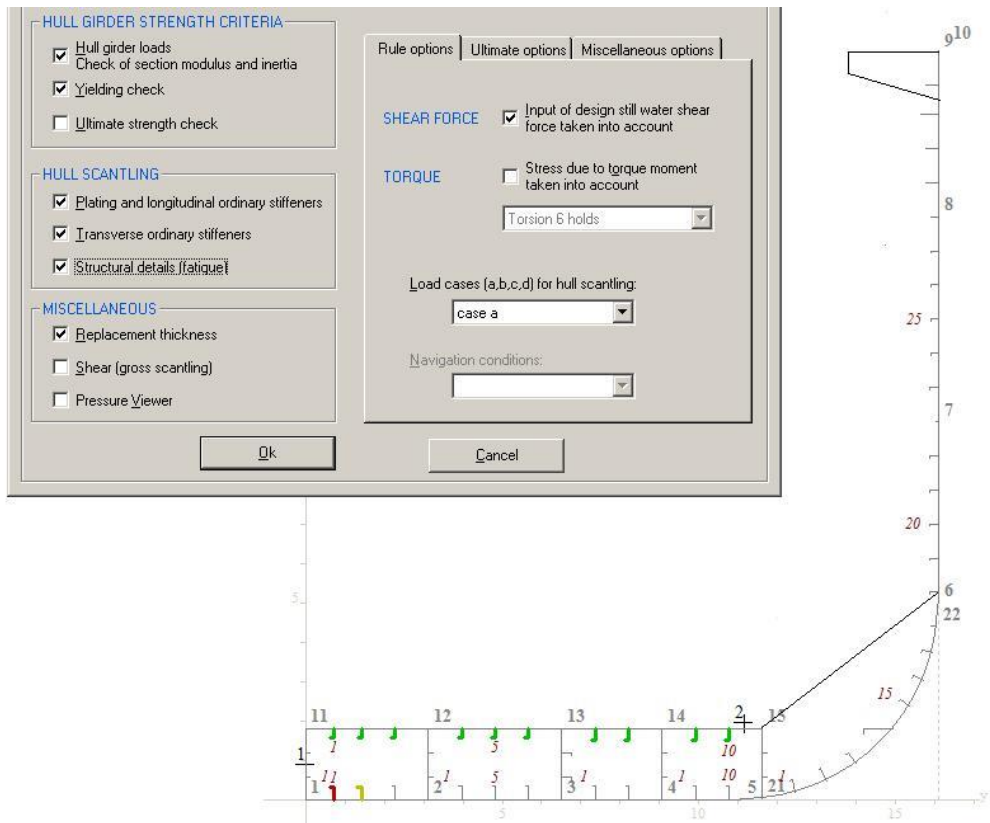


Figura I-4 – Seção Mestra

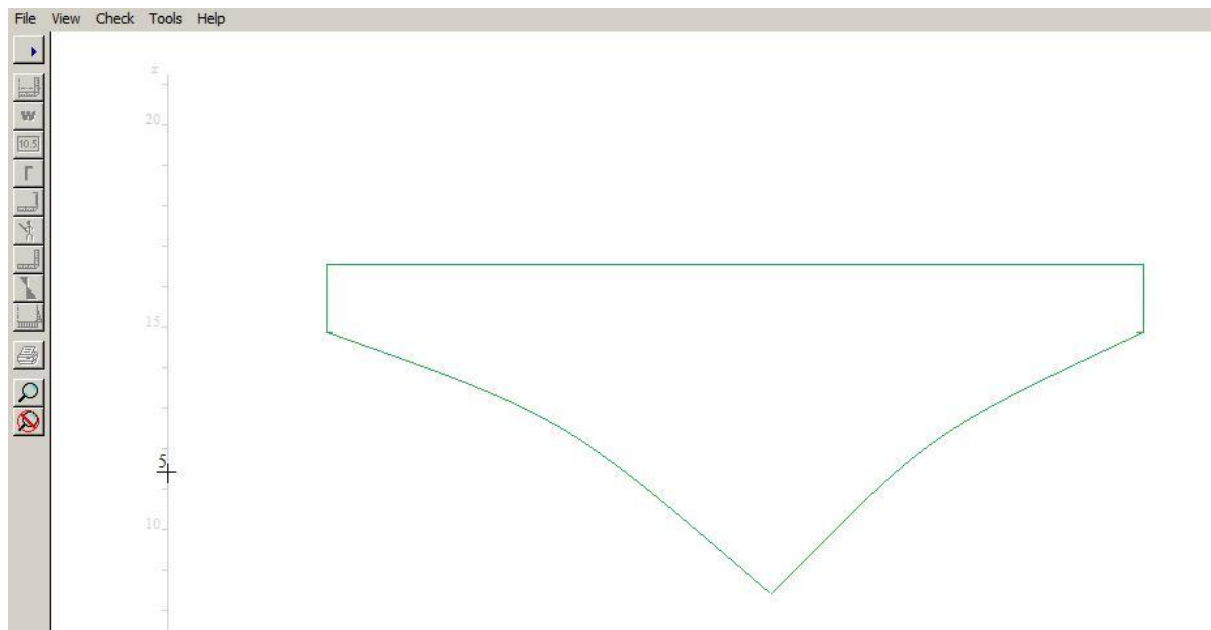


Figura I-5 – Seção de Ré

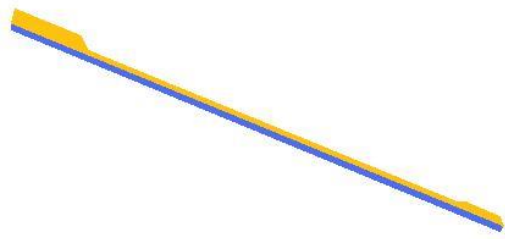


Figura I-6 – Viga

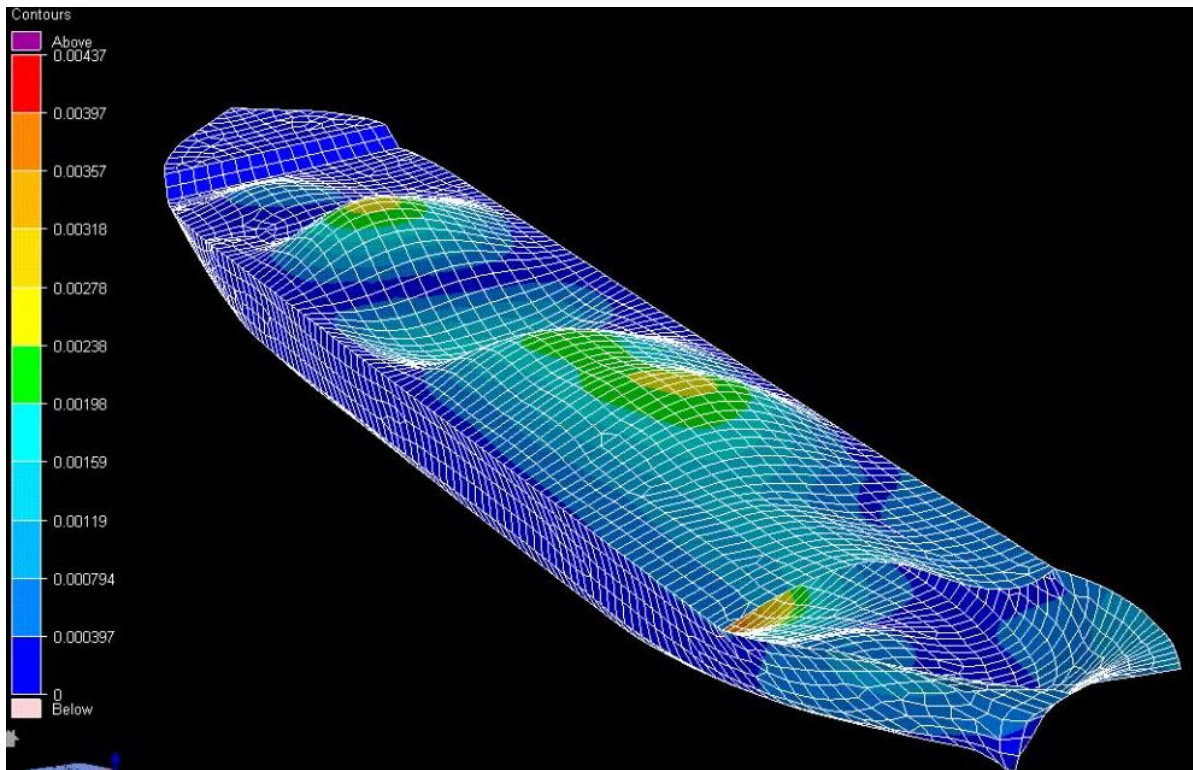


Figura I-7 Modelo com problemas

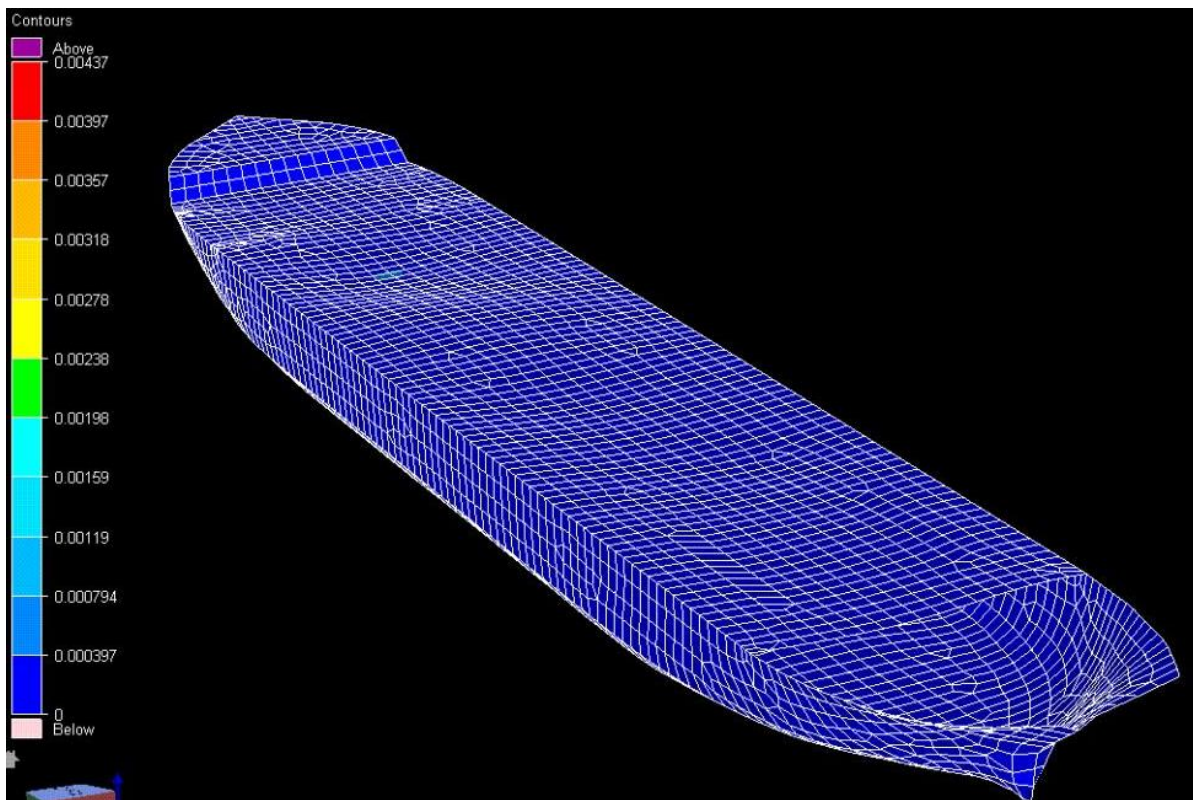


Figura I-8 Modelo sendo carenado

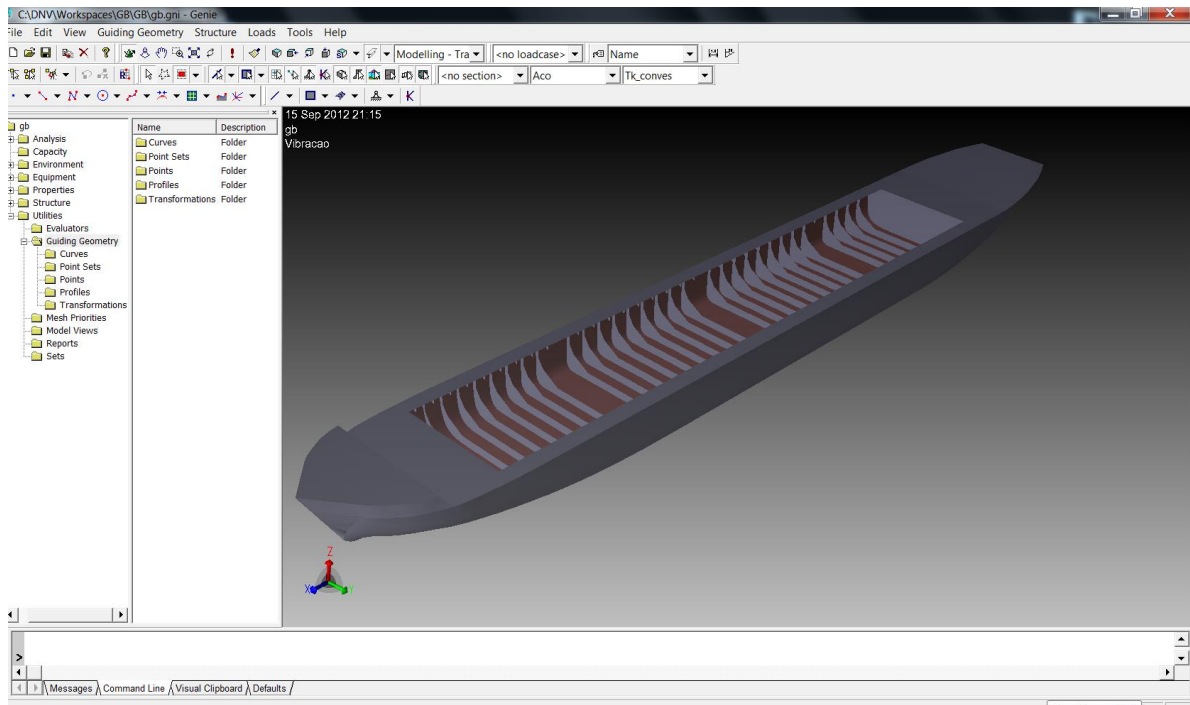


Figura I-9 Modelo com algumas estruturas internas

II. Anexo

TABELA UTILIZADA PARA O CALCULO DAS SEÇÕES DA EMBARCAÇÃO										
CAV	Área	A	Za	Iyy	Izz	Iyz	J	k'yA	k'zA	Zc
-5	7565286.39	2.67E+05	6607.3	1.99E+11	2.20E+12	2.86E-04	5.62E+11	1.70E+05	4.17E+04	6285.7
-4	9860451.06	2.72E+05	6528.03	2.96E+11	2.64E+12	4.52E-04	7.60E+11	1.66E+05	4.75E+04	6152.71
-3	10130294.54	3.03E+05	6390.6	3.31E+11	2.95E+12	5.04E-04	8.48E+11	1.85E+05	5.30E+04	5962.6
-2	11635251.95	3.18E+05	6113.4	4.89E+11	3.50E+12	1.72E-04	1.13E+12	2.27E+05	2.55E+04	5618.81
-1	12310205.5	3.61E+05	6004.9	5.55E+11	3.96E+12	1.95E-04	1.28E+12	2.57E+05	2.89E+04	5444.3
0	15155308.21	4.07E+05	5814.23	6.26E+11	4.47E+12	2.20E-04	1.45E+12	2.90E+05	3.25E+04	5236.19
1	18154834.63	4.19E+05	5738.9	8.36E+11	5.28E+12	9.06E-06	1.88E+12	2.93E+05	3.96E+04	5089.3
2	20649625.72	4.33E+05	5492.35	1.31E+12	6.34E+12	3.13E-04	2.81E+12	2.82E+05	5.41E+04	4801.94
3	27854757.13	4.51E+05	5175.71	1.92E+12	7.69E+12	2.68E-04	4.01E+12	2.67E+05	7.28E+04	4432.87
4	23753457.01	4.51E+05	5175.71	1.92E+12	7.69E+12	2.21E-04	4.01E+12	2.67E+05	7.28E+04	4432.87
5	30018264.89	4.87E+05	4546.74	3.13E+12	1.04E+13	1.73E-04	6.38E+12	2.38E+05	1.10E+05	3699.77
6	37913060.43	5.20E+05	3980	4.23E+12	1.28E+13	-3.50E-04	8.51E+12	2.12E+05	1.43E+05	3039.2
7	38425210.26	5.56E+05	3980	4.52E+12	1.37E+13	-3.75E-04	9.10E+12	2.27E+05	1.53E+05	3039.2
8	40674763.88	5.88E+05	3980	4.78E+12	1.45E+13	-3.97E-04	9.63E+12	2.40E+05	1.62E+05	3039.2
9	42717553.81	6.18E+05	3980	5.02E+12	1.52E+13	-4.16E-04	1.01E+13	2.52E+05	1.70E+05	3039.2
10	43550044.15	6.44E+05	3980	5.24E+12	1.59E+13	-4.34E-04	1.05E+13	2.63E+05	1.77E+05	3039.2
11	43197890.03	6.68E+05	3980	5.43E+12	1.65E+13	-4.50E-04	1.09E+13	2.72E+05	1.84E+05	3039.2
12	47734244.38	6.90E+05	3980	5.61E+12	1.70E+13	-4.65E-04	1.13E+13	2.81E+05	1.90E+05	3039.2
13	49182422.64	7.11E+05	3980	5.78E+12	1.75E+13	-4.79E-04	1.16E+13	2.90E+05	1.96E+05	3039.2
14	50500315.22	7.30E+05	3980	5.93E+12	1.80E+13	-4.92E-04	1.20E+13	2.98E+05	2.01E+05	3039.2
15	51725144.39	7.48E+05	3980	6.08E+12	1.84E+13	-5.04E-04	1.22E+13	3.05E+05	2.06E+05	3039.2
16	52882613.17	7.65E+05	3980	6.21E+12	1.88E+13	-5.16E-04	1.25E+13	3.12E+05	2.10E+05	3039.2
17	53856125.94	7.79E+05	3980	6.33E+12	1.92E+13	-5.25E-04	1.28E+13	3.17E+05	2.14E+05	3039.2
18	54777241.73	7.92E+05	3980	6.44E+12	1.95E+13	-5.34E-04	1.30E+13	3.23E+05	2.18E+05	3039.2
19	37387373.34	8.71E+05	2375.8	5.41E+12	2.99E+13	2.49E+10	2.94E+11	2.42E+05	1.30E+05	-2859.70
20	37894484.28	8.82E+05	2375.8	5.48E+12	3.03E+13	2.53E+10	2.98E+11	2.45E+05	1.32E+05	-2859.70
21	38501531.71	8.97E+05	2375.8	5.57E+12	3.08E+13	2.57E+10	3.03E+11	2.49E+05	1.34E+05	-2859.70
22	39096827.77	9.10E+05	2375.8	5.66E+12	3.13E+13	2.61E+10	3.08E+11	2.53E+05	1.36E+05	-2859.70
23	39413313.79	9.18E+05	2375.8	5.70E+12	3.15E+13	2.63E+10	3.10E+11	2.55E+05	1.37E+05	-2859.70
24	39816944.53	9.27E+05	2375.8	5.76E+12	3.19E+13	2.66E+10	3.13E+11	2.58E+05	1.38E+05	-2859.70
25	40457497.41	9.42E+05	2375.8	5.85E+12	3.24E+13	2.70E+10	3.18E+11	2.62E+05	1.41E+05	-2859.70
26	40519688.15	9.44E+05	2375.8	5.86E+12	3.24E+13	2.70E+10	3.19E+11	2.62E+05	1.41E+05	-2859.70
27	40862559.74	9.52E+05	2375.8	5.91E+12	3.27E+13	2.72E+10	3.22E+11	2.64E+05	1.42E+05	-2859.70
28	41175352.96	9.59E+05	2375.8	5.96E+12	3.29E+13	2.75E+10	3.24E+11	2.66E+05	1.43E+05	-2859.70
29	41422461.37	9.65E+05	2375.8	5.99E+12	3.31E+13	2.76E+10	3.26E+11	2.68E+05	1.44E+05	-2859.70
30	41710454.04	9.71E+05	2375.8	6.03E+12	3.34E+13	2.78E+10	3.28E+11	2.70E+05	1.45E+05	-2859.70

Cav.	Área	A	Za	lyy	lzz	lyz	J	k'yA	k'zA	Zc
31	41939264	9.77E+05	2375.8	6.07E+12	3.36E+13	2.80E+10	3.30E+11	2.71E+05	1.46E+05	-2859.70
32	42131715	9.81E+05	2375.8	6.09E+12	3.37E+13	2.81E+10	3.32E+11	2.73E+05	1.46E+05	-2859.70
33	42293004	9.85E+05	2375.8	6.12E+12	3.38E+13	2.82E+10	3.33E+11	2.74E+05	1.47E+05	-2859.70
34	42437455	9.88E+05	2375.8	6.14E+12	3.40E+13	2.83E+10	3.34E+11	2.75E+05	1.48E+05	-2859.70
35	42758503	9.96E+05	2375.8	6.19E+12	3.42E+13	2.85E+10	3.37E+11	2.77E+05	1.49E+05	-2859.70
36	42710620	9.95E+05	2375.8	6.18E+12	3.42E+13	2.85E+10	3.36E+11	2.76E+05	1.48E+05	-2859.70
37	42813904	9.97E+05	2375.8	6.19E+12	3.43E+13	2.86E+10	3.37E+11	2.77E+05	1.49E+05	-2859.70
38	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
39	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
40	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
41	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
42	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
43	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
44	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
45	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
46	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
47	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
48	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
49	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
50	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
51	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
52	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
53	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
54	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
55	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
56	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
57	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
58	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
59	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
60	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70

TABELA UTILIZADA PARA O CALCULO DAS SEÇÕES DA EMBARCAÇÃO										
CAV	Área	A	Za	Iyy	Izz	Iyz	J	k'yA	k'zA	Zc
31	41939264	9.77E+05	2375.8	6.07E+12	3.36E+13	2.80E+10	3.30E+11	2.71E+05	1.46E+05	-2859.70
32	42131715	9.81E+05	2375.8	6.09E+12	3.37E+13	2.81E+10	3.32E+11	2.73E+05	1.46E+05	-2859.70
33	42293004	9.85E+05	2375.8	6.12E+12	3.38E+13	2.82E+10	3.33E+11	2.74E+05	1.47E+05	-2859.70
34	42437455	9.88E+05	2375.8	6.14E+12	3.40E+13	2.83E+10	3.34E+11	2.75E+05	1.48E+05	-2859.70
35	42758503	9.96E+05	2375.8	6.19E+12	3.42E+13	2.85E+10	3.37E+11	2.77E+05	1.49E+05	-2859.70
36	42710620	9.95E+05	2375.8	6.18E+12	3.42E+13	2.85E+10	3.36E+11	2.76E+05	1.48E+05	-2859.70
37	42813904	9.97E+05	2375.8	6.19E+12	3.43E+13	2.86E+10	3.37E+11	2.77E+05	1.49E+05	-2859.70
38	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
39	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
40	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
41	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
42	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
43	43060070	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
44	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
45	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
46	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
47	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
48	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
49	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
50	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
51	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
52	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
53	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
54	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
55	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
56	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
57	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
58	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
59	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
60	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70

TABELA UTILIZADA PARA O CALCULO DAS SEÇÕES DA EMBARCAÇÃO										
CAV	Área	A	Za	Iyy	Izz	Iyz	J	k'yA	k'zA	Zc
91	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
92	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
93	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
94	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
95	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
96	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
97	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
98	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
99	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
100	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
101	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
102	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
103	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
104	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
105	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
106	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
107	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
108	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
109	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
110	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
111	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
112	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
113	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
114	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
115	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
116	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
117	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
118	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
119	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70
120	43380517	1.01E+06	2375.8	6.28E+12	3.47E+13	2.89E+10	3.41E+11	2.81E+05	1.51E+05	-2859.70

TABELA UTILIZADA PARA O CALCULO DAS SEÇÕES DA EMBARCAÇÃO										
CAV	Área	A	Za	Iyy	Izz	Iyz	J	k'yA	k'zA	Zc
150	43380517	9.27E+05	2375.8	5.76E+12	3.19E+13	2.65E+10	3.13E+11	2.58E+05	1.38E+05	-2859.70
151	43380517	9.16E+05	2375.8	5.69E+12	3.15E+13	2.62E+10	3.10E+11	2.54E+05	1.37E+05	-2859.70
152	43380517	9.02E+05	2375.8	5.61E+12	3.10E+13	2.58E+10	3.05E+11	2.51E+05	1.35E+05	-2859.70
153	43380517	8.92E+05	2375.8	5.54E+12	3.07E+13	2.55E+10	3.02E+11	2.48E+05	1.33E+05	-2859.70
154	43380517	8.79E+05	2375.8	5.46E+12	3.02E+13	2.52E+10	2.97E+11	2.44E+05	1.31E+05	-2859.70
155	43380517	8.64E+05	2375.8	5.36E+12	2.97E+13	2.47E+10	2.92E+11	2.40E+05	1.29E+05	-2859.70
156	43380517	8.49E+05	2375.8	5.27E+12	2.92E+13	2.43E+10	2.87E+11	2.36E+05	1.27E+05	-2859.70
157	43380517	8.33E+05	2375.8	5.17E+12	2.86E+13	2.38E+10	2.81E+11	2.31E+05	1.24E+05	-2859.70
158	43380517	8.15E+05	2375.8	5.06E+12	2.80E+13	2.33E+10	2.76E+11	2.27E+05	1.22E+05	-2859.70
159	43380517	7.94E+05	2375.8	4.93E+12	2.73E+13	2.27E+10	2.68E+11	2.21E+05	1.19E+05	-2859.70
160	43380517	7.71E+05	2375.8	4.79E+12	2.65E+13	2.21E+10	2.61E+11	2.14E+05	1.15E+05	-2859.70
161	41891309	6.27E+05	3690.08	3.74E+12	1.94E+13	-1.01E+10	7.93E+12	4.04E+05	9.69E+04	2534.98
162	40829652	6.11E+05	3707.67	3.65E+12	1.89E+13	-9.83E+09	7.73E+12	3.94E+05	9.44E+04	2552.57
163	39671340	5.94E+05	3726	3.55E+12	1.84E+13	-9.55E+09	7.51E+12	3.82E+05	9.17E+04	2570.9
164	38280177	5.73E+05	3744.08	3.42E+12	1.78E+13	-9.21E+09	7.24E+12	3.69E+05	8.85E+04	2588.98