

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia
Escola Politécnica
Engenharia Naval e Oceânica



**INFLUÊNCIA DA ÁREA EFETIVA NO CISALHAMENTO E DA
MASSA ADICIONAL EM MODELO UNIDIMENSIONAL NA
PREDIÇÃO DA VIBRAÇÃO LIVRE DE PETROLEIRO**

Aluno

Gustavo Ferreira Andrade
DRE: 108042324

Professor Orientador

Severino Fonseca da Silva Neto



ESCOLA POLITÉCNICA
ENGENHARIA NAVAL E OCEÂNICA



Influência da Área Efetiva no Cisalhamento e da Massa Adicional em Modelo Unidimensional na Predição da Vibração Livre de Petroleiro

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.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Agosto de 2013

Aprovado por:

Severino Fonseca da Silva Neto, D.Sc.-COPPE/UFRJ
(Orientador)

Antonio Carlos Ramos Troyman, D.Sc.-COPPE/UFRJ
(Co-Orientador)

Luis Antônio Vaz Pinto, D.Sc.-COPPE/UFRJ

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Agosto de 2013

INFLUÊNCIA DA ÁREA EFETIVA NO CISALHAMENTO E DA MASSA ADICIONAL EM MODELO UNIDIMENSIONAL NA PREDIÇÃO DA VIBRAÇÃO LIVRE DE PETROLEIRO

Gustavo Ferreira Andrade

Agosto/2013

Orientador: Severino Fonseca da Silva Neto

Departamento: Engenharia Naval e Oceânica

Resumo do Trabalho:

O objetivo desse projeto é investigar a influência do cálculo da área efetiva no cisalhamento pela teoria de fluxo de tensões cisalhantes em seções de paredes finas nas frequências naturais de vibração livre do casco de petroleiro, levando em consideração a massa adicional ajustada por medições em escala real.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais pelo apoio nas horas de insegurança e pelo grande exemplo de caráter, força e amor no qual fui inundado durante toda a minha vida.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais, Marcello Faria Andrade e Lélia Siqueira Ferreira, pelo apoio que sempre me deram e pela confiança que me passaram durante esses anos difíceis. À minha irmã, Luíza Ferreira Andrade, que, se não fosse pelo seu exemplo, provavelmente não teria escolhido este caminho e, também, por seus conselhos, que por ter feito essa mesma caminhada, foram sempre perfeitos.

Ao professor Severino Fonseca da Silva Neto, pela sua paciência infindável, pelo seu carinho e sua dedicação exemplar. Não poderia ter escolhido melhor meu orientador. Espero que o senhor saiba do grande exemplo que é para cada aluno da Engenharia Naval e Oceânica da UFRJ e do quanto o senhor é querido por todos nós.

Ao Eng. Pesquisador Antonio Carlos Ramos Troyman, por estar sempre presente e pela ajuda prestada nesta etapa de construção do Projeto de Graduação. Realmente, muito obrigado.

Aos poucos e bons: Diogo Rigaud, pelo seu coração de ouro; Vinícius Vargas, pelo ombro amigo sempre presente; Fernando Machado pelas discussões sempre construtivas.

A Carina Bersot pela compreensão e companheirismo. Certamente sem você teria sido muito mais difícil.

Ao Pedro Brezensky Villela, pelas duplas feitas nos projetos, sem sua parceria e competência essa minha batalha seria muito mais complicada. Essa vitória é um pouco sua também.

Aos amigos feitos durante esse período, Marcus Schirmer, Rodrigo Altomare, Mariana Candella, Pedro Ronchini, Rafael Fischer, Oto Matos, Yuri Torres, Alexandre Samel, Ian Pereira, Rodrigo Tiago, Gustavo Montfort, Gastão Moura, Fernanda Roale, entre outros.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	6
1- Introdução.....	7
2- Objetivo.....	7
3- Embarcação de Estudo	7
4- Conceitos Fundamentais	10
4-1 Massa Adicional.....	10
4-2 Teoria de Vibração	13
4-3 Viga de Euler-Bernoulli	16
4-4 Viga de Timoshenko	17
4-5 Teoria do Fluxo de Tensões Cisalhantes em Seções de Paredes Finas	18
5 Divisão da Seção Mestra	20
5-1 Nó.....	20
5-2 Strings	21
5-3 Ramais.....	22
5-4 Células.....	23
5-5 Coordenadas dos Nós.....	23
6 PROSEC	26
6-1 Definição dos Strings	26
6-2 Definição das Células.....	27
6-3 Definição dos Ramais	28
7 Resultados do PROSEC	29
8 Modelo Numérico.....	29
8-1 Massas Adicionais no Modelo	30
9 Resultados.....	30
10 Conclusão	32
11 Referências	33

1- Introdução

O estudo da vibração nas embarcações é de extrema importância visto que esta pode acarretar uma série de problemas distintos, tais como a redução no grau de conforto de passageiros e tripulantes, em fadiga de pontos da estrutura ou até no colapso devido à ressonância.

Esse movimento oscilatório é um problema para embarcações, pois ele ocorre devido às forças dinâmicas interagindo sobre o navio. Essas forças variantes com o tempo estarão sempre presentes ou devido às ondas ou até mesmo por causa de um equipamento em funcionamento.

Vale ressaltar também que a vibração não pode ser extinta no navio, mas ela pode e deve ser reduzida a níveis considerados satisfatórios.

O estudo desse fenômeno é de grande complexidade e o uso de modelos tridimensionais para representar o casco pode ser necessário. Porém, com base em estudos [1], pode-se concluir que o uso de modelos unidimensionais maior grau de facilidade na modelação.

2- Objetivo

O objetivo deste trabalho é, com o desenvolvimento de um cálculo mais refinado da área efetiva no cisalhamento, dar continuidade ao Projeto Final desenvolvido por Rodrigo de Souza Sobrinho e, assim, obter a influência da energia cinética do fluido adjacente ao casco de um petroleiro nas suas frequências de vibração vertical. Com os resultados gerados por simulação computacional de um modelo unidimensional em elementos finitos, será possível compará-los com valores experimentais obtidos em provas de mar.

Com isso podemos distinguir a influência da área efetiva no cisalhamento nos resultados finais.

3- Embarcação de Estudo

O objeto a ser estudado é uma embarcação do tipo petroleiro que transporta derivados claros de petróleo, com capacidade de 48,3 mil toneladas de porte bruto.

Seguem abaixo as características principais desta embarcação:

Dimensões Principais Celso Furtado		
Comprimento Total	182,88	m
Comprimento entre perpendiculares	174	m
Comprimento de Escatilhões	177,5	m
Boca	32,2	m
Pontal	18,6	m
Capacidade	48.300	ton
Calado normal de lastro	7,1	m
Calado a plena carga	12,8	m
Coefficiente de Bloco	0,819	-

Figura 1- Características Principais

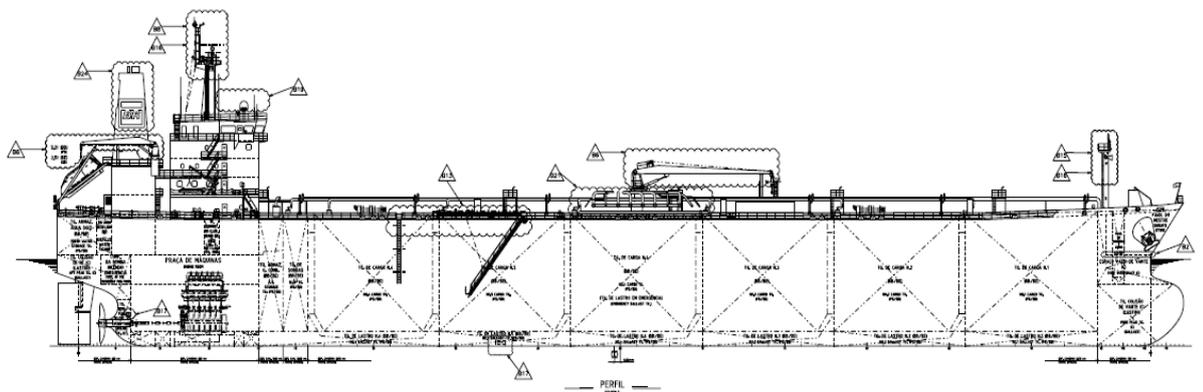


Figura 2- Vista Lateral

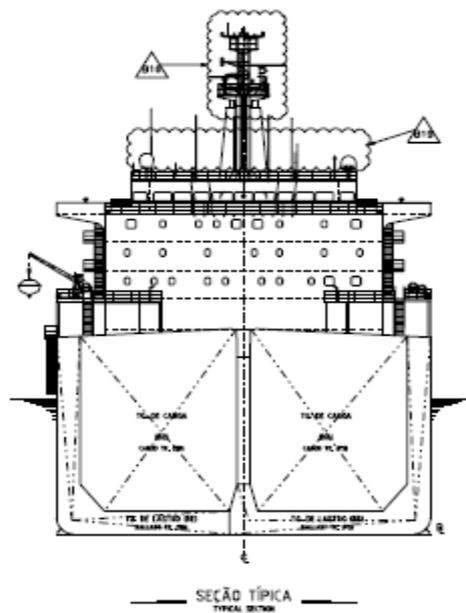


Figura 3- Vista Frontal

4- Conceitos Fundamentais

Com o objeto de estudo devidamente identificado, devemos agora apresentar uma breve revisão teórica de conceitos fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

É válido apresentar conceitos referentes à Massa Adicional e Teoria de Vibração de vigas de Euler-Bernoulli, vigas de Timoshenko e viga-navio.

4-1 Massa Adicional

A massa adicional consiste no coeficiente de proporcionalidade da força de reação do movimento de uma massa no meio fluido e é proporcional a aceleração do corpo.

Devido a isso, surge o efeito de uma massa virtual que deve ser levado em consideração nos cálculos, pois este, pode afetar significativamente os resultados.

Para a determinação do Coeficiente de Massa Adicional utilizaremos as seguintes equações:

- Burrell

$$m' = m \left(1 + \frac{B}{2T} \right)$$

- Todd

$$m' = m \left(1,2 + \frac{B}{3T} \right)$$

- Kumay

$$m' = m \left(1 + 0,4 \frac{B}{T} - 0,035 \left(\frac{B}{T} \right)^2 \right) \text{ para navios tanque.}$$

Utilizaremos também uma formulação modificada da equação de Kumay mostrada acima para embarcações do tipo tanque atuais.

- Kumay Modificada

$$m' = m \left(1 + 0,4 \frac{B}{T} - 0,056 \left(\frac{B}{T} \right)^2 \right)$$

Um método que merece destaque é o desenvolvido por Lewis que toma como base uma seção circular e utiliza o Método da Transformação Conforme.

A Transformação Conforme consiste basicamente na mudança de determinadas curvas de um domínio XY para um domínio X'Y'.

Posteriormente, Lanweber utilizou os conceitos de Lewis e gerou gráficos que fornecem o que Lanweber chamou de Coeficientes de Massa Virtual Vertical (C_V) e Coeficientes de Massa Virtual Horizontal (C_H) em função dos seguintes parâmetros:

- $\sigma = \frac{S}{BT}$
- $\lambda = \frac{T}{B/2}$

onde:

S-área da seção

B-boca da embarcação

T-calado da embarcação

Posteriormente, Lanweber utilizou os conceitos de Lewis e gerou gráficos que fornecem o que Lanweber chamou de Coeficientes de Massa Virtual Vertical (C_V) e Coeficientes de Massa Virtual Horizontal (C_H) em função dos seguintes parâmetros:

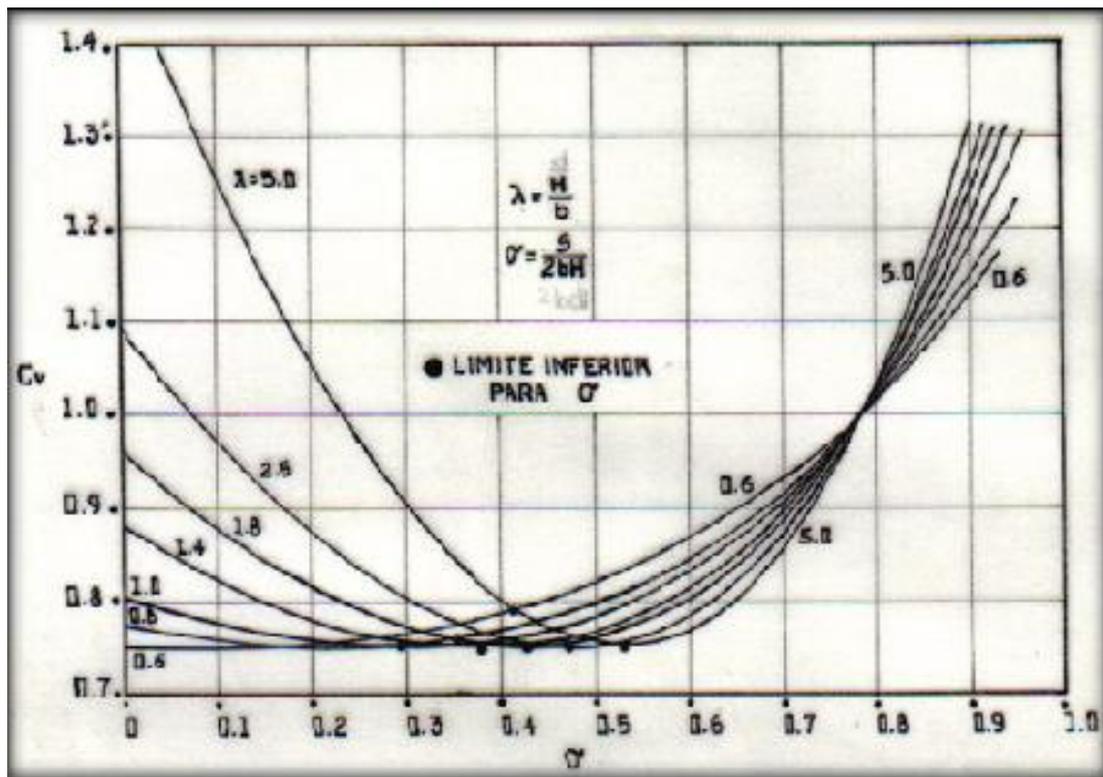


Figura 5 - Gráfico para obtenção de C_v

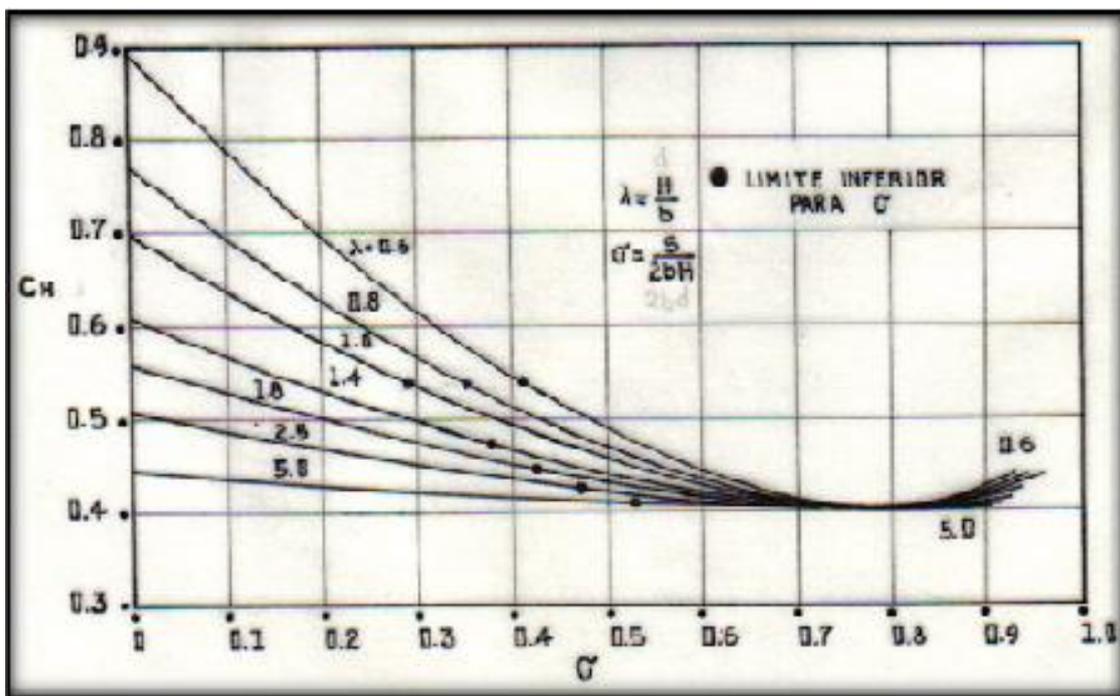


Figura 6 - Gráfico para Obtenção de C_H

De posse dos coeficientes pode-se obter o valor das massas virtuais por meio das seguintes relações:

$$m'_v = \frac{\pi * \rho * b^2 * C_v}{2}$$

$$m'_h = \frac{\pi * \rho * d^2 * C_h}{2}$$

Onde:

ρ - Massa Específica do meio

b - Boca da Embarcação

d - Calado da Embarcação

4-2 Teoria de Vibração

O estudo da vibração nos corpos levam em consideração a massa do corpo, a perda de energia por meio do amortecimento e a rigidez de acordo com a relação abaixo:

$$M * \ddot{x} + C * \dot{x} + K * x = f(t) \quad (1)$$

onde:

$$f(t) = F_0 * \cos(\omega t)$$

M- massa

C- amortecimento

K- rigidez

ω - frequência

Devemos então para solucionar a equação acima, propor a seguinte solução particular:

$$x_p(t) = X * \cos(\omega * t - \sigma) \quad (2)$$

onde:

σ – ângulo de fase

X-amplitude

Temos então que encontrar o valor da amplitude X e do ângulo de fase σ .

Substituindo a primeira e segunda derivadas de $x_p(t)$ na equação (1) temos:

$$X * [(k - m * w^2) * \cos(w * t - \sigma) - c * w * \sin(w * t - \sigma)] = F_0 * \cos(wt)$$

Utilizando conceitos os conceitos trigonométricos abaixo:

$$\cos(w * t - \sigma) = \cos(w * t) * \cos(\sigma) + \sin(w * t) * \sin(\sigma)$$

$$\sin(w * t - \sigma) = \sin(w * t) * \cos(\sigma) + \cos(w * t) * \sin(\sigma)$$

Podemos, então, chegar às seguintes relações:

$$X[(k - m * w^2) * \cos(\sigma) + c * w * \sin(\sigma)] = F_0 \quad (3)$$

$$X[(k - m * w^2) * \sin(\sigma) - c * w * \cos(\sigma)] = 0 \quad (4)$$

Utilizando a equação (2) podemos obter:

$$X = \frac{F_0}{\sqrt{[(k - c * w^2)^2 + c^2 * w^2]}}$$

Por (3) podemos encontrar :

$$\tan^{-1}(\sigma) = \frac{c * w}{k - m * w^2}$$

Para o caso do estudo para diversos graus de liberdade, temos que utilizar o conceito de matrizes e a equação se torna:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f(t)\}$$

onde:

[M]-matriz de massa

[C]-matriz de amortecimento

[K]-matriz de rigidez

Para corpos simples, podemos encontrar as matrizes fazendo o diagrama de corpo livre, como pode ser visto abaixo:

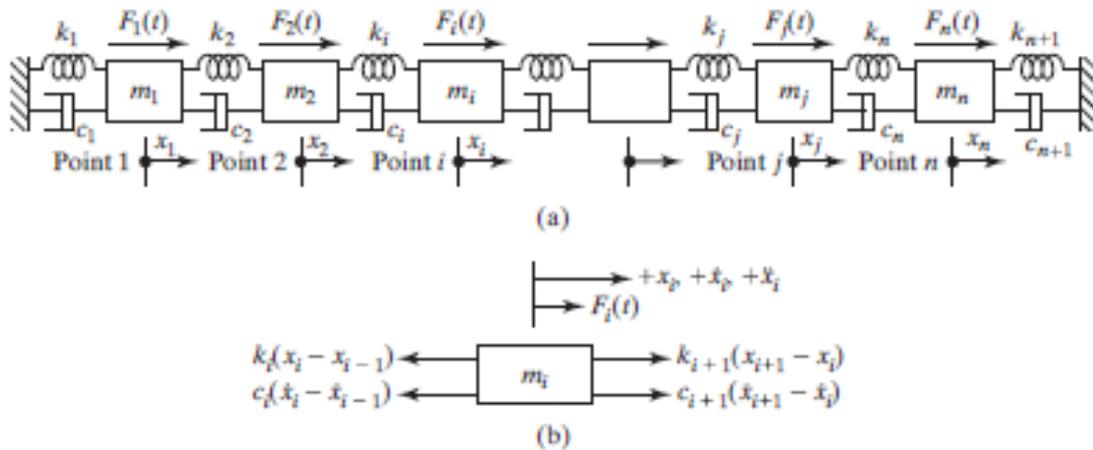


Figura 7-Diagrama de Corpo Livre

Porém, para sistemas complexos, a busca por essas matrizes de massa [M], de rigidez [K] e de amortecimento [C] pode ser facilitada fazendo-se a modelação por elementos finitos do sistema a ser estudado.

A solução do problema para vários graus de liberdade faz uso de conceitos tais como :

- Matriz Dinâmica

$$[D] = [K]^{-1} * [M]$$

- Matriz Δ

$$[\Delta] = \lambda * [I] - [D]$$

onde:

$$\lambda = 1/w^2$$

Fazendo :

$$\det([\Delta]) = 0$$

Podemos determinar os valores das frequências naturais e, finalmente, os modos de vibração pela relação:

$$(\lambda_i * [I] - [D]) * \bar{X}^i = 0$$

4-3 Viga de Euler-Bernoulli

Primeiramente, para ser considerada uma viga de Euler-Bernoulli, devemos considerar as seguintes hipóteses que simplificadoras:

- A viga é constituída de um material linearmente elástico;
- O Coeficiente de Poisson é negligenciável;
- Planos perpendiculares à linha neutra permanecem planos e perpendiculares a ele depois da deformação;
- O ângulo de rotação é muito pequeno;
- Os efeitos do momento de inércia de rotação são desprezados;
- A energia envolvida no cisalhamento é desprezada;
- A viga é constituída por um material homogêneo.

A equação proposta por Euler-Bernoulli mostra o comportamento do movimento transversal da viga ao longo do tempo dado por:

$$EI(x) = \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial^4 x} = q(x, t)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade
y(x,t) = posição da linha neutra
q(x,t) = carga atuante na viga

As condições de contorno que podem ser aplicadas para a solução deste tipo de problema são da forma:

Extremidade engastada, a posição e a inclinação da linha neutra são nulas:

$$u|_x = 0 \quad ; \quad \frac{\partial u}{\partial x}|_x = 0$$

Extremidade totalmente livre (ou em balanço)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}|_x = 0 \quad ; \quad \frac{\partial^3 u}{\partial x^3}|_x = 0$$

Extremidade fixa por pino, a posição e o momento são nulos:

$$u = 0 \quad ; \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

Extremidade com uma força F e um momento M aplicados:

$$-\frac{\partial}{\partial x} \left(EI \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) = F \quad ; \quad EI \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = M$$

4-4 Viga de Timoshenko

O modelo proposto por Timoshenko incorpora ao modelo de Euler a contribuição do cisalhamento no comportamento dos corpos, ou seja, as deformações devidas ao esforço cortante não são desprezadas frente às deformações ocasionadas pelo momento fletor. Outro ponto que merece destaque é o uso da inércia de rotação, fato este que não ocorre na viga de Euler-Bernoulli.

O diferencial desta teoria é que ela pode ser usada para o caso de vigas curtas, com baixa razão de aspecto (relação entre o comprimento e a altura da viga).

Quando submetidas a carregamentos estáticos ou dinâmicos, as vigas se deformam devido a deflexão e rotação. No modelo proposto por Euler-Bernoulli a parcela dessa rotação, devido ao cisalhamento, como dito anteriormente, não é considerada, uma vez que uma de suas hipóteses é a perpendicularidade da seção transversal à linha neutra em todos os pontos da viga durante a flexão. A contribuição da rotação devido ao cisalhamento β é considerada no modelo proposto por Timoshenko na forma:

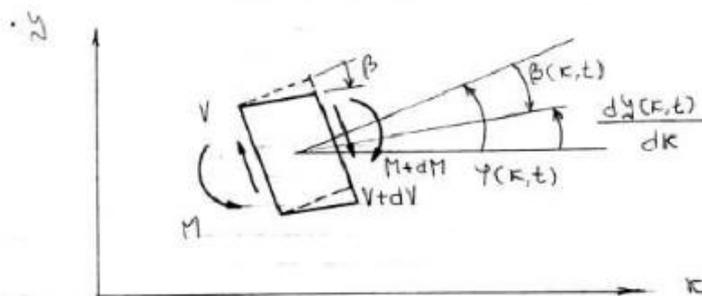


Figura 8-Seção da Viga

$$\frac{dy(x,t)}{dx} = \varphi(x,t) - \beta(x,t)$$

onde:

$\varphi(x, t)$ – deformação devido ao momento fletor

$\beta(x, t)$ – deformação devido ao cortante

$\frac{dy(x, t)}{dx}$ – deformação total

Deve-se, também, levar em consideração a área na qual a força cortante atua, e ela é normalmente estimada como uma porcentagem da área da seção e é denominada de Área Efetiva no Cisalhamento.

4-5 Teoria do Fluxo de Tensões Cisalhantes em Seções de Paredes Finas

Esta teoria é complexa e extensa e pode ser encontrada de forma completa em Megson (1974). Neste presente relatório ela será mostrada de maneira rápida e compacta.

O ponto de partida dessa teoria consiste nas seguintes hipóteses:

- A espessura do material é considerada pequena se comparada com as demais dimensões da seção;
- As tensões cisalhantes distribuem-se uniformemente pela espessura da parede;
- O material é linear e as propriedades mecânicas e térmicas são as mesmas em todas as direções (isotrópico);
- Considera-se o coeficiente de Poisson nulo.

Para uma seção plana qualquer de paredes finas, o fluxo cisalhante em determinado ponto s da seção é dado por:

$$q_s = -\frac{\bar{S}_z}{I_{yy}} * \left(\int_0^s t\bar{z} ds + \sum b\bar{z} \right) - \frac{\bar{S}_y}{I_{zz}} * \left(\int_0^s t\bar{y} ds + \sum b\bar{y} \right) + q_0$$

onde:

$$\bar{S}_y = \frac{S_y - S_z * \frac{I_{yz}}{I_{yy}}}{1 - \frac{I_{yz}^2}{I_{yy} * I_{yy}}}$$

$$\bar{S}_z = \frac{S_z - S_y * \frac{I_{yz}}{I_{yy}}}{1 - \frac{I_{yz}^2}{I_{yy} * I_{yy}}}$$

S_y – força cortante aplicada na direção y;

S_z – força cortante aplicada na direção z;

\bar{z}, \bar{y} – coordenadas relativas ao centróide da área da seção;

I_{yy}, I_{zz} – momentos de inércia de área centroidais;

I_{yz} – produto de inércia de área centroidal;

t – espessura das paredes;

b – área de reforço que absorve tensões normais, mas não tensões cisalhantes;

q_0 – fluxo de tensão cisalhante no ponto inicial 0.

Agora, deve-se escrever uma equação para a área efetiva no cisalhamento, $k'A$, em função do fluxo cisalhante, q_s . De acordo com a teoria elementar de flexão de vigas, assume-se que a inclinação da elástica devido a uma força cortante, V, seja dada por:

$$\frac{dw}{dx} = \frac{V}{k' * A * G}$$

onde:

$k'A \rightarrow$ área efetiva no cisalhamento

$G \rightarrow$ módulo de elasticidade transversal

Outra relação importante é a do Princípio do Valor Estacionário da Energia Complementar Total do Sistema Elástico, que é dado pela relação abaixo:

$$\frac{dw}{dx} = \int_S \tau^* * \gamma * t * ds \quad (5)$$

Sabendo que:

q- fluxo de tensão

$$q^* = \tau^* * t$$

$$\gamma = \frac{q}{G * t}$$

$$q = q^* * V$$

Substituindo as relações acima na equação do Princípio do Valor Estacionário da Energia Complementar Total do Sistema Elástico temos que:

$$\frac{dw}{dx} = \frac{V}{G} * \int_S \frac{q^{*2}}{t} dS \quad (6)$$

Igualando (5) e (6) chegamos a seguinte relação:

$$k'A = \frac{1}{\int_S \frac{q^{*2}}{t} ds}$$

Vale ressaltar que q^* é calculado para uma força cortante unitária.

5 Divisão da Seção Mestra

Para o uso do programa PROSEC, desenvolvido por A. C. R. Troyman e C. A. L. da Conceição, para o cálculo da Área Efetiva no Cisalhamento, devemos primeiramente dividir a seção mestra completa a ser estudada em Strings, Ramais e Células.

5-1 Nó

Os pontos pretos são os nós da seção.

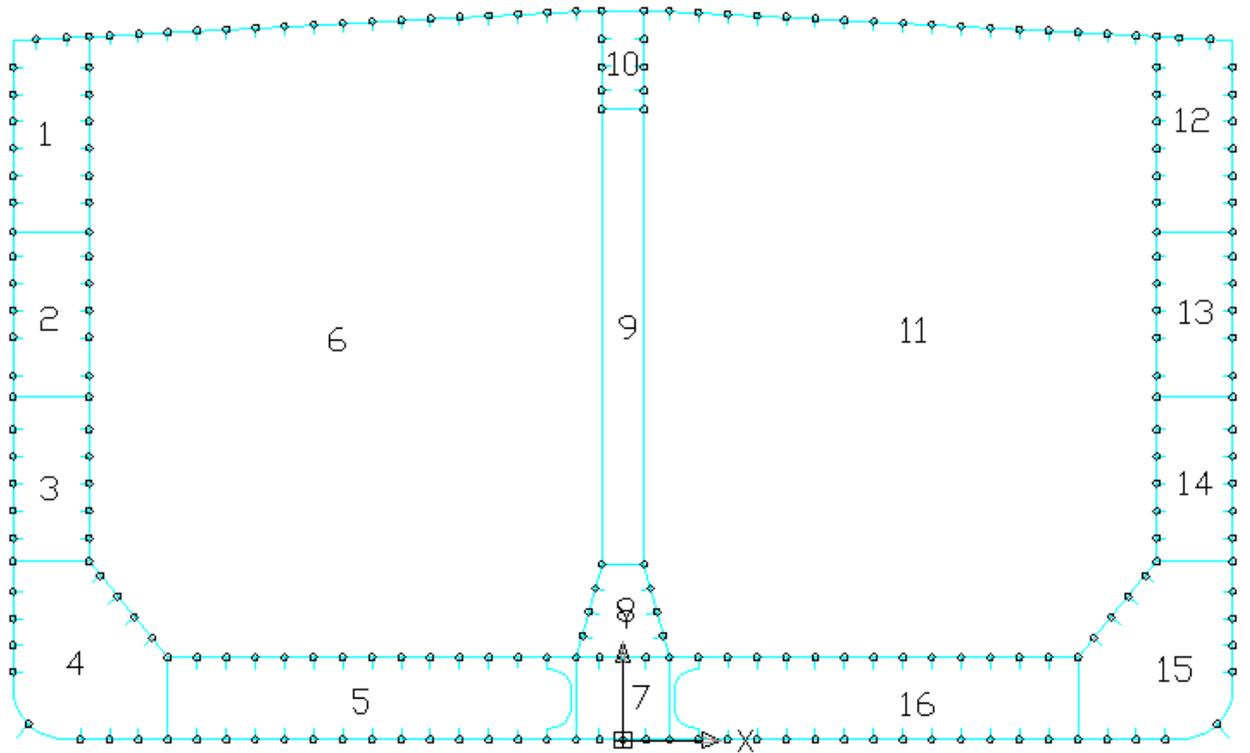


Figura 9-Nós

5-2 Strings

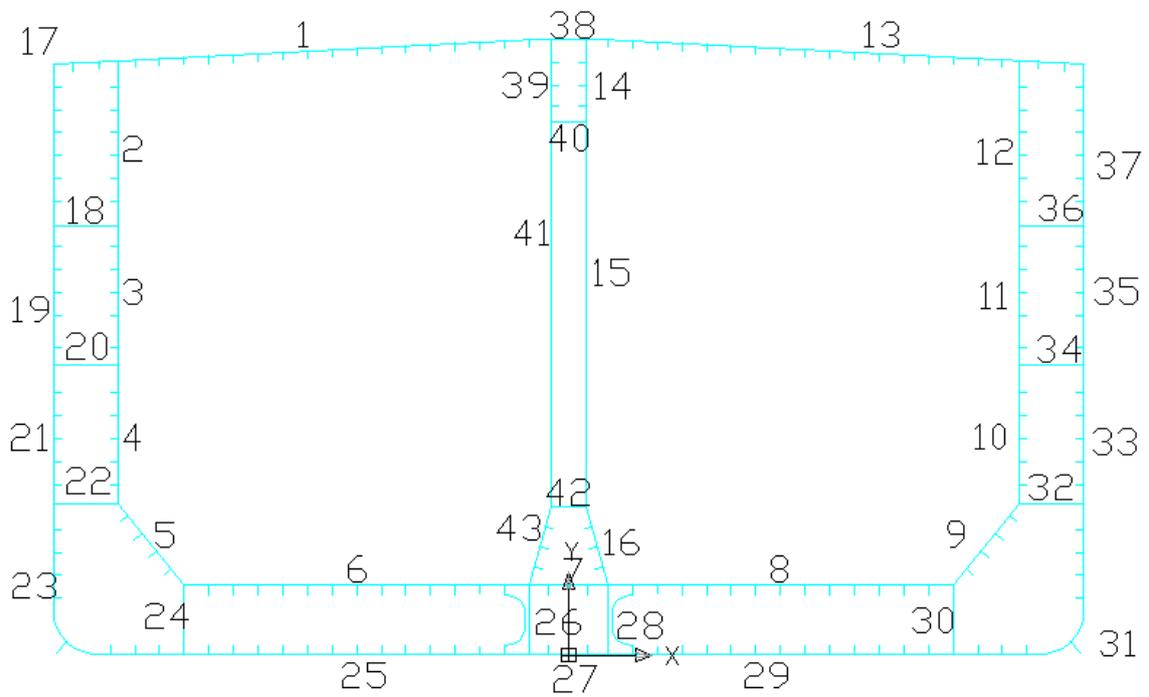


Figura 10-Strings

5-3 Ramais

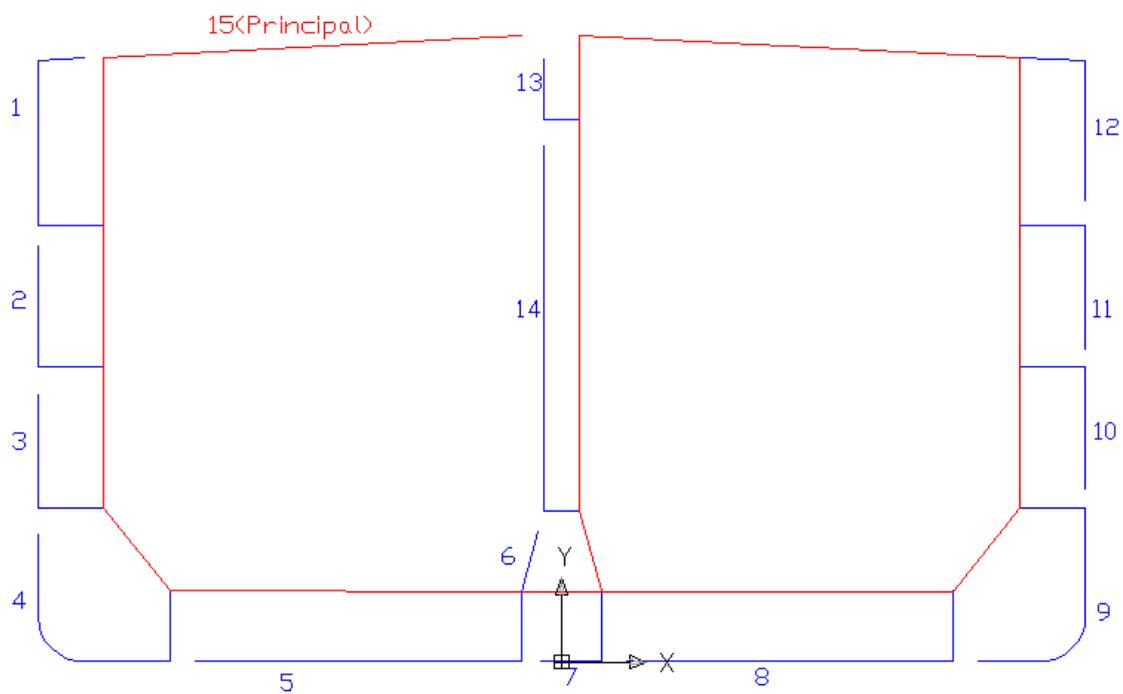


Figura 11-Ramais

5-4 Células

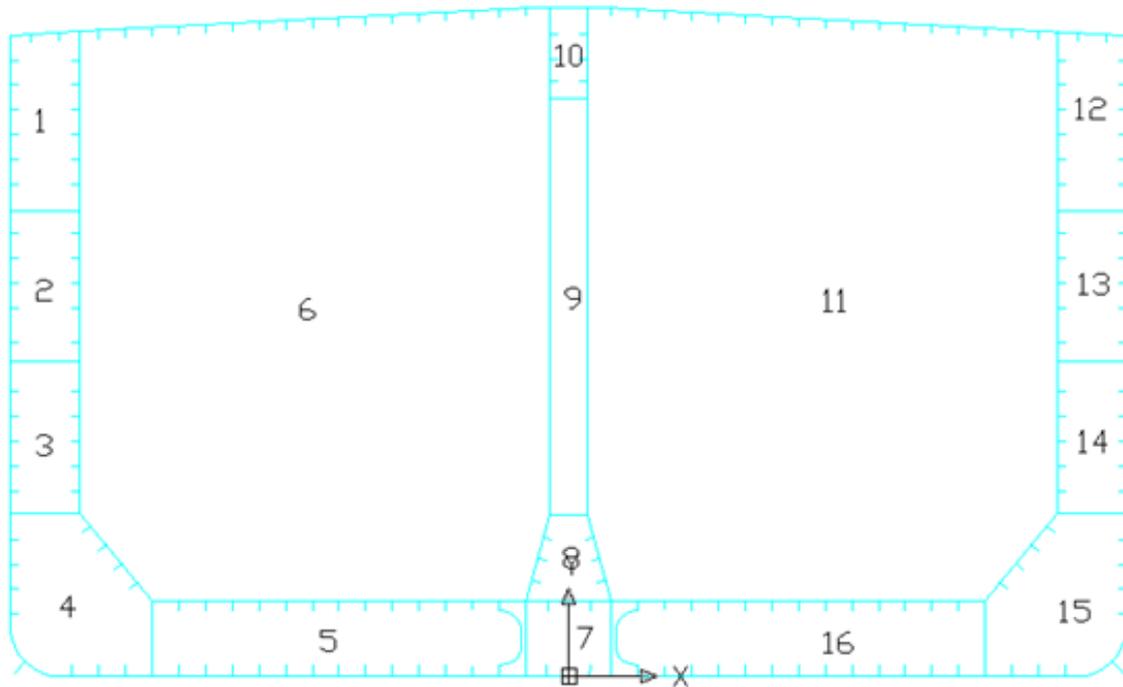


Figura 12-Células

5-5 Coordenadas dos Nós

Com a seção mestra completamente discretizada, devemos obter então as coordenadas dos nós para que, posteriormente, possamos definir os limites dos Strings e dos Ramais de forma precisa.

Segue abaixo a tabela com todas as coordenadas:

Tabela 1-Coordenadas dos Nós

Convés Bombordo (((de boreste para bombordo)))				COSTADO (((de cima para baixo)))			FUNDO (((de bombordo para boreste)))		
				NÓ	Y	Z			
				NÓ	Y	Z	NÓ	Y	Z
				21	-16,1	17,8707			
				22	-16,1	17,1545	45	-14,3191	0
				23	-16,1	16,4383	46	-13,5491	0
				24	-16,1	15,705	47	-12,7791	0
				25	-16,1	14,9888	48	-12,0091	0
				26	-16,1	14,2727	49	-11,2391	0
				27	-16,1	13,49	50	-10,4691	0
				28	-16,1	12,843	51	-9,6991	0
				29	-16,1	12,1241	52	-8,9291	0
				30	-16,1	11,4079	53	-8,1591	0
				31	-16,1	10,6746	54	-7,3891	0
				32	-16,1	9,9686	55	-6,6191	0
				33	-16,1	9,11	56	-5,8491	0
				34	-16,1	8,2362	57	-5,0791	0
				35	-16,1	7,52	58	-4,3091	0
				36	-16,1	6,8038	59	-3,5391	0
				37	-16,1	6,0706	60	-2,7691	0
				38	-16,1	5,3544	61	-1,9991	0
Costado Duplo				39	-16,1	4,73	62	-1,2291	0
interno ao Cost.Duplo				40	-16,1	3,922	63	-0,6209	0
interno ao Cost.Duplo				41	-16,1	3,2058	64	0	0
				42	-16,1	2,5067	65	0,6209	0
				43	-16,1	1,7905	66	1,2291	0
							67	1,9991	0
							68	2,7691	0
							69	3,5391	0
							70	4,3091	0
							71	5,0791	0
							72	5,8491	0
							73	6,6191	0
							74	7,3891	0
							75	8,1591	0
							76	8,9291	0
							77	9,6991	0
							78	10,4691	0
							79	11,2391	0
							80	12,0091	0
							81	12,7791	0
							82	13,5491	0
							83	14,3191	0

Tabela 2-Coordenadas dos Nós

CONVÉS BORESTE				COSTADO (((boreste)))				FUNDO DUPLO				COSTADO DUPLO BORESTE			
	NÓ	Y	Z		NÓ	Y	Z		NÓ	Y	Z		NÓ	Y	Z
Interno ao Cost. Duplo	108	15,4949	18,3809		85	16,1	1,7905		151	-12,0091	2,18		188	14,1	4,73
Interno ao Cost. Duplo	109	14,6804	18,6621		86	16,1	2,5067		152	-11,2391	2,18		189	14,1	5,3544
Costado Duplo	110	14,1	18,6933		87	16,1	3,2058		153	-10,4691	2,18		190	14,1	6,0706
	111	13,5491	18,7236		88	16,1	3,922		154	-9,6991	2,18		191	14,1	6,8038
	112	12,7791	18,7649		89	16,1	4,73		155	-8,9291	2,18		192	14,1	7,52
	113	12,0091	18,8053		90	16,1	5,3544		156	-8,1591	2,18		193	14,1	8,2362
	114	11,2391	18,8457		91	16,1	6,0706		157	-7,3891	2,18		194	14,1	9,11
	115	10,4691	18,887		92	16,1	6,8038		158	-6,6191	2,18		195	14,1	9,6686
	116	9,6991	18,9274		93	16,1	7,52		159	-5,8491	2,18		196	14,1	10,6746
	117	8,9291	18,9688		94	16,1	8,2362		160	-5,0791	2,18		197	14,1	11,4079
	118	8,1591	19,0091		95	16,1	9,11		161	-4,3091	2,18		198	14,1	12,1241
	119	7,3891	19,0495		96	16,1	9,6686		162	-3,5391	2,18		199	14,1	12,843
	120	6,6191	19,0908		97	16,1	10,6746		163	-2,7691	2,18		200	14,1	13,49
	121	5,8491	19,1312		98	16,1	11,4079		164	-1,9991	2,18		201	14,1	14,2727
	122	5,0791	19,1725		99	16,1	12,1241		165	-1,2291	2,18		202	14,1	14,9888
	123	4,3091	19,2129		100	16,1	12,843		166	-0,6146	2,18		203	14,1	15,705
	124	3,5391	19,2533		101	16,1	13,49		167	0	2,18		204	14,1	16,4383
	125	2,7691	19,2947		102	16,1	14,2727		168	0,6146	2,18		205	14,1	17,1545
	126	1,9991	19,335		103	16,1	14,9888		169	1,2291	2,18		206	14,1	17,8707
	127	1,2291	19,3764		104	16,1	15,705		170	1,9991	2,18				
					105	16,1	16,4383		171	2,7691	2,18		ANTEPARA		
COSTADO DUPLO BOMBORDO					106	16,1	17,1545		172	3,5391	2,18		NÓ	Y	Z
					107	16,1	17,8707		173	4,3091	2,18		207	-0,554	19,3883
	NÓ	Y	Z						174	5,0791	2,18		208	-0,554	18,6209
	128	-14,1	17,8707						175	5,8491	2,18		209	-0,554	17,8877
	129	-14,1	17,1545						176	6,6191	2,18		210	-0,554	17,2568
	130	-14,1	16,4383						177	7,3891	2,18		211	-0,554	16,7623
	131	-14,1	15,705						178	8,1591	2,18		212	-0,554	4,6552
	132	-14,1	14,9888						179	8,9291	2,18		213	-0,7258	4,0215
	133	-14,1	14,2727						180	9,6991	2,18		214	-0,8971	3,39
	134	-14,1	13,49						181	10,4691	2,18		215	-1,0671	2,763
	135	-14,1	12,843						182	11,2391	2,18		216	1,0671	2,763
	136	-14,1	12,1241						183	12,0091	2,18		217	0,8971	3,39
	137	-14,1	11,4079										218	0,7258	4,0215
	138	-14,1	10,6746										219	0,554	4,6552
	139	-14,1	9,6686										220	0,554	16,7623
	140	-14,1	9,11										221	0,554	17,2568
	141	-14,1	8,2362										222	0,554	17,8877
	142	-14,1	7,52										223	0,554	18,6209
	143	-14,1	6,8038										224	0,554	19,3883
	144	-14,1	6,0706												
	145	-14,1	5,3544												
	146	-14,1	4,73												

6 PROSEC

Com as coordenadas dos Strings e Ramais definidas e de posse também das espessuras dos chapeamentos e das áreas transversais dos perfis HP utilizados na Seção Mestra em estudo, pode-se, com o auxílio do programa PROSEC, calcular a área efetiva no cisalhamento.

6-1 Definição dos Strings

O primeiro passo desta etapa foi entrar com as coordenadas de todos os nós referentes a cada string, com a espessura do chapeamento entre os nós e a área dos reforços. Lembrando que as unidades das coordenadas e das espessuras estão no Sistema Internacional.



Dados dos Strings

No. de Strings: 43

Seleciona o String: 1

No. de Nós: 19

Nós do String Selecionado

Nó	y	z	t	b
1	-0.554	19.3883	0.013	0
2	-1.2291	19.3754	0.013	0.00455
3	-1.9991	19.335	0.013	0.00455
4	-2.7691	19.2938	0.013	0.00455
5	-3.5391	19.2533	0.013	0.00455
6	-4.3091	19.2129	0.013	0.00455
7	-5.0791	19.1725	0.013	0.00455
8	-5.8491	19.1312	0.013	0.00455
9	-6.6191	19.0908	0.013	0.00455
10	-7.3891	19.0495	0.013	0.00455
11	-8.1591	19.0091	0.013	0.00455
12	-8.9291	18.9688	0.013	0.00455
13	-9.6991	18.9274	0.013	0.00455
14	-10.4691	18.887	0.013	0.00455
15	-11.2391	18.8457	0.013	0.00455

Figura 13-Entrada dos Strings no PROSEC

6-2 Definição das Células

O segundo passo consiste em fornecer para o programa os limites das células, seus strings, juntamente com o seu sentido sendo o anti-horário positivo e horário negativo.

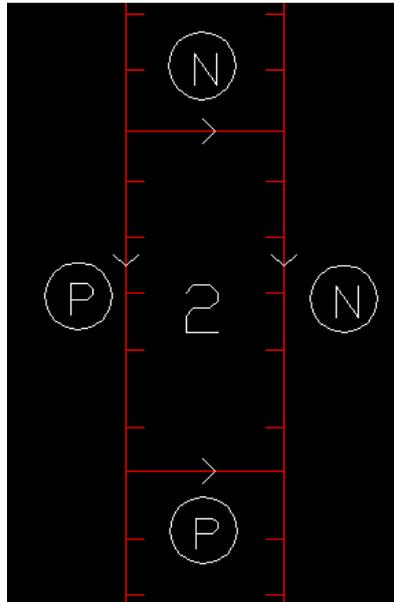


Figura 14- Strings Positivos e Negativos

Dados das Células

No. de Células: 16

Seleciona a Célula: 1

No. de Strings: 3

Strings da Célula Selecionada

String	Índice	Sentido
1	17	+
2	18	+
3	2	-

Figura 15- Entrada das Células no PROSEC

6-3 Definição dos Ramais

O terceiro e último passo é definir completamente os ramais da seção em estudo.

Para tal, devemos entrar com os Strings pertencentes a cada ramal e o String de conexão, ou seja, o string no qual o ramal "desemboca".

Abaixo segue um exemplo de um dos strings de conexão, onde o ramal 1 se une ao string 3 (String de Conexão).

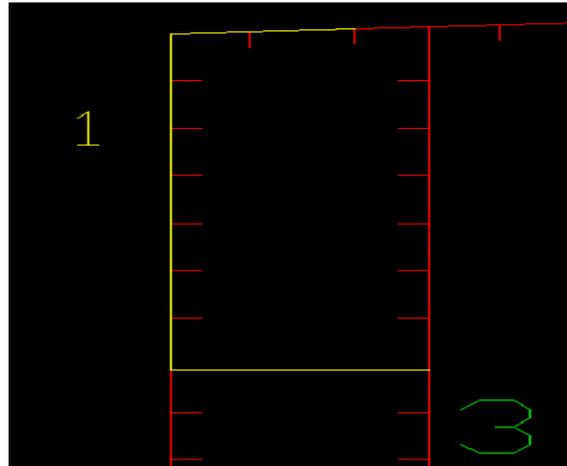


Figura 16-String de Conexão

Dados dos Ramais

No. de Ramais: 15 ◀ ▶

Seleciona o Ramal: 1 ◀ ▶ No. de Strings: 2 ◀ ▶

Strings do Ramal Selecionado

String	Índice
1	17
2	18

String de Conexão do Ramal Selecionado: 3 ◀ ▶

Figura 17-Entrada dos Ramais no PROSEC

7 Resultados do PROSEC

Com todas as etapas completadas, obtivemos o seguinte resultado:

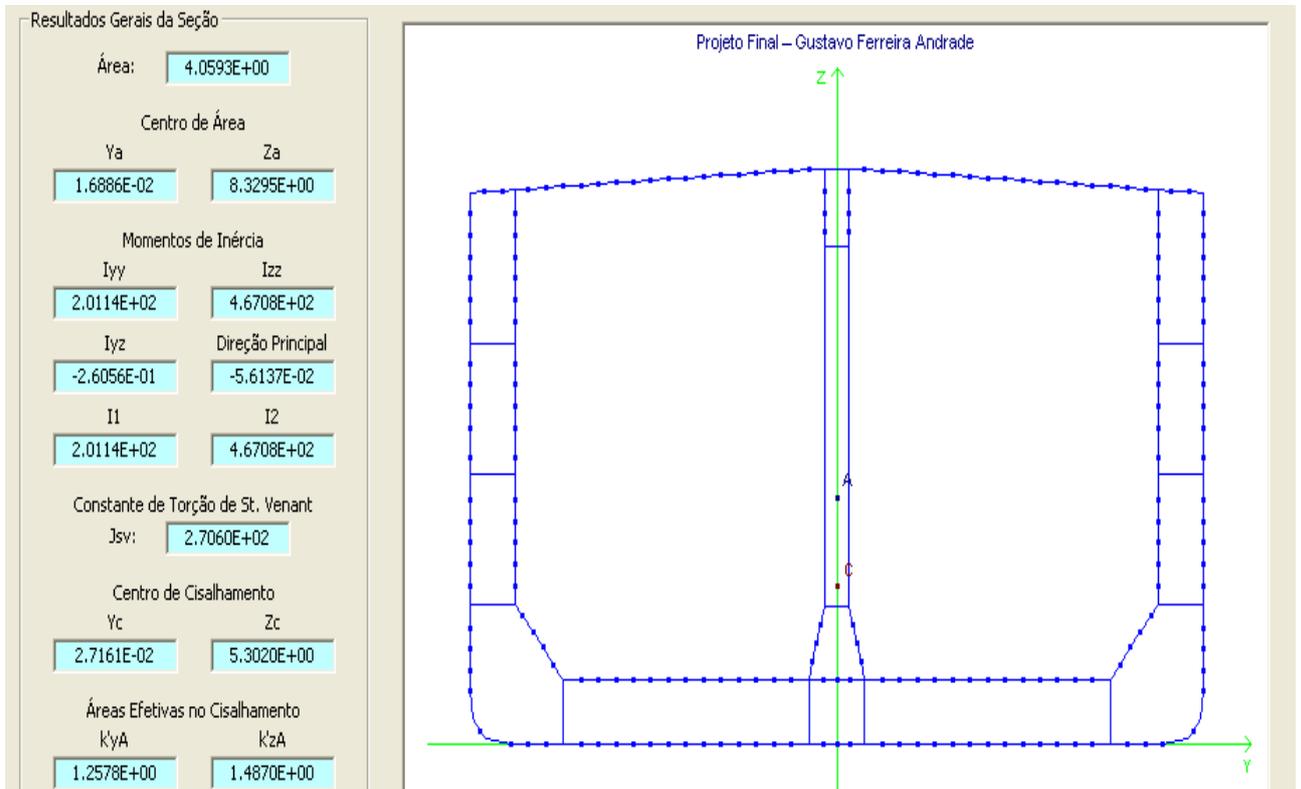


Figura 18-Resultados do PROSEC

8 Modelo Numérico

Nesta etapa, o modelo numérico utilizado foi o mesmo utilizado pelo aluno Rodrigo de Souza Sobrinho [3] e portanto as considerações feitas por ele devem ser mantidas e serão mencionadas a seguir :

- Como não foi possível obter a distribuição de massa real da embarcação, adotou-se a hipótese de uma distribuição uniforme de massa para o modelo. Essa consideração pode ser feita pois mesmo possuindo uma extensão menor as regiões de popa e proa são mais reforçadas que a região do corpo paralelo.
- A variação da massa adicional ao longo da embarcação também não foi considerada. Isso ocorreu pelo fato de não ter sido possível obter o plano de balizas da embarcação e com isso não se pode encontrar os valores de

Boca e Calado de cada seção. Essa aproximação pode ser feita pelo fato das medições na prova de mar terem sido feitas com pequena variação de calado na popa e proa e também porque as regiões de popa e proa são bem menores que a região de corpo paralelo.

A modificação feita no modelo do aluno Rodrigo de Souza Sobrinho [3] foi a introdução dos valores calculados pelo programa PROSEC mostrados no item 7 deste relatório.

8-1 Massas Adicionais no Modelo

As massas adicionais utilizadas no modelo numérico, conforme calculado por [3], são:

Tabela 3- Massas Adicionais

	Massa	Massa Adicional	TOTAL
Burriel	6795,84	32383,54	39179,38
Todd	6795,84	25213,47	32009,31
Landweber	6795,84	78185,67	84981,51
Kumay	6795,84	13778,01	20573,85
Kumay modificado	6795,84	5685,21	12481,05

9 Resultados

Para os oito primeiros modos de vibração e para cada formulação de massa adicional os resultados estão mostrados a seguir. É importante ressaltar que as tabelas em verde se referem aos dados deste relatório e as tabelas em azul aos da referência [3].

Tabela 4-Comparação Burril

Burril			Burril		Prova de Mar	
	Modelo[hz]	Prova de Mar [hz]				
1º modo	1,405181	1,1	1º modo	1,259656 hz	1º modo	1,1 hz
2º modo	1,953557	1,23	2º modo	3,134217 hz	2º modo	1,23 hz
3º modo	3,376301	1,92	3º modo	5,414363 hz	3º modo	1,92 hz
4º modo	4,098204	2,02	4º modo	7,828655 hz	4º modo	2,02 hz
5º modo	5,451914	2,9	5º modo	10,26574 hz	5º modo	2,9 hz
6º modo	5,651549	3,23	6º modo	12,68273 hz	6º modo	3,23 hz
7º modo	6,280124	4,23	7º modo	15,06887 hz	7º modo	4,23 hz
8º modo	7,974745	4,8	8º modo	17,42376 hz	8º modo	4,8 hz

Tabela 5-Comparação Kumay

Kumay			Kumay		Prova de Mar	
	Modelo[hz]	Prova de Mar [hz]				
1º modo	1,9390460	1,1	1º modo	1,738232 hz	1º modo	1,1 hz
2º modo	2,6957640	1,23	2º modo	4,324987 hz	2º modo	1,23 hz
3º modo	4,6590450	1,92	3º modo	7,471419 hz	3º modo	1,92 hz
4º modo	5,6552170	2,02	4º modo	10,80296 hz	4º modo	2,02 hz
5º modo	7,5232360	2,9	5º modo	14,16596 hz	5º modo	2,9 hz
6º modo	7,7987180	3,23	6º modo	17,50122 hz	6º modo	3,23 hz
7º modo	8,6661050	4,23	7º modo	20,79392 hz	7º modo	4,23 hz
8º modo	11,0045600	4,8	8º modo	24,0435 hz	8º modo	4,8 hz

Tabela 6-Comparação Landweber

Landweber			Landweber		Prova de Mar	
	Modelo[hz]	Prova de Mar [hz]				
1º modo	0,956389	1,1	1º modo	0,857325 hz	1º modo	1,1 hz
2º modo	1,329752	1,23	2º modo	2,128826 hz	2º modo	1,23 hz
3º modo	2,293274	1,92	3º modo	3,686762 hz	3º modo	1,92 hz
4º modo	2,783696	2,02	4º modo	5,321429 hz	4º modo	2,02 hz
5º modo	3,702008	2,9	5º modo	6,983349 hz	5º modo	2,9 hz
6º modo	3,848352	3,23	6º modo	8,628358 hz	6º modo	3,23 hz
7º modo	4,276471	4,23	7º modo	10,24188 hz	7º modo	4,23 hz
8º modo	5,420829	4,8	8º modo	11,86322 hz	8º modo	4,8 hz

Tabela 7-Comparação Todd

Todd			Todd			Prova de Mar		
	Modelo[hz]	Prova de Mar [hz]						
1º modo	1,549179	1,1	1º modo	1,38872	hz	1º modo	1,1	hz
2º modo	2,153912	1,23	2º modo	3,460457	hz	2º modo	1,23	hz
3º modo	3,727752	1,92	3º modo	5,983454	hz	3º modo	1,92	hz
4º modo	4,524903	2,02	4º modo	8,656644	hz	4º modo	2,02	hz
5º modo	6,012601	2,9	5º modo	11,35548	hz	5º modo	2,9	hz
6º modo	6,245347	3,23	6º modo	14,03126	hz	6º modo	3,23	hz
7º modo	6,939056	4,23	7º modo	16,67081	hz	7º modo	4,23	hz
8º modo	8,817761	4,8	8º modo	19,2725	hz	8º modo	4,8	hz

Tabela 8-Kumay Modificado

Kumay Modificado		
	Modelo[hz]	Prova de Mar [hz]
1º modo	2,489649	1,1
2º modo	3,461241	1,23
3º modo	5,982007	1,92
4º modo	7,261048	2,02
5º modo	9,659501	2,9
6º modo	10,013210	3,23
7º modo	11,126890	4,23
8º modo	14,129360	4,8

10 Conclusão

Com os resultados apresentados, pode-se então concluir que a definição precisa da Área da Seção e da Área Efetiva no Cisalhamento é imprescindível para a obtenção de um resultado consistente. É possível fazer essa afirmação quando se faz a comparação dos resultados mostrados no item anterior deste presente relatório.

As variações maiores ocorrem nos últimos modos de vibração e em sua maioria os resultados, levando em consideração a Área Efetiva no Cisalhamento, ficam aproximadamente 50% menores e conseqüentemente mais próximos dos valores reais (mesmo ainda sendo consideravelmente maiores em alguns casos).

Essa discrepância nos resultados pode ter ocorrido pelo fato de serem consideradas as hipóteses adotadas no item 8 deste relatório. A massa adicional real varia com o comprimento da embarcação devido a variação da geometria do casco, e não pode ser considerada constante como na hipótese adotada. O mesmo ocorre com a distribuição de massa da embarcação, invalidando então, as duas hipóteses do item 8.

Podemos concluir então que, para obtermos valores próximos dos reais, não podemos desprezar o cálculo da Área Efetiva no Cisalhamento e as informações do plano de linhas da embarcação passam a ser imprescindíveis para que cada seção possa ser definida de forma mais precisa.

11 Referências

- [1] e Silva, Osvaldo Pinheiro de Souza; Neto, Severino Fonseca da Silva; Pasqualino, Ilson Paranhos; Troyman, Antonio Carlos Ramos, "EFFECTIVE SHEAR AREA IN ONE DIMENSIONAL SHIP HULL FINITE ELEMENT MODELS TO PREDICT NATURAL FREQUENCIES OF VIBRATION"
- [2] RAO, SINGIRESU S. – “Mechanical Vibrations” – Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 3a edição, 1995.
- [3] SOBRINHO, Rodrigo de Souza - " Análise da Influência da Massa Adicional do Fluido Adjacente ao Casco de Petroleiro na Vibração Medida durante Prova de Mar"
- [4] COLONESE, Leandro da Cruz - " ANÁLISE NUMÉRICA UNIDIMENSIONAL DA VIBRAÇÃO DO CASCO DE PSV - PLATFORM SUPPLY VESSEL"
- [5] SOUZA, M.R.A. e MENDOÇA, A.V. - " ANÁLISE DINÂMICA DE UMA VIGA DE TIMOSHENKO APOIDA SOBRE BASE ELÁSTICA UTILIZANDO EQUAÇÕES INTEGRAIS: UM CASO PARTICULAR"