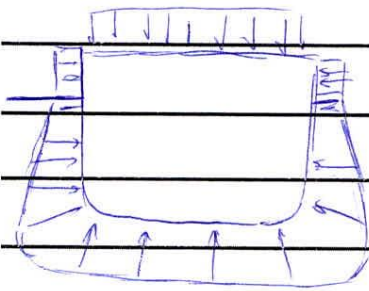


PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO N° #1

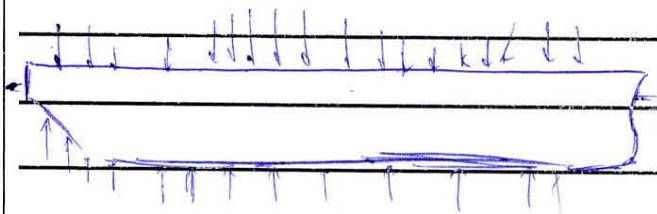
Em navios, análise estrutural aplica-se em diferentes níveis de detalhamento, desde a representação dos carregamentos individuais sobre sua estrutura.

Análise primária está associada ao comportamento global de estrutura do navio que, devido à sua forma esbelta típica, pode ser representada pela abordagem da VIGA-NAVIO.



Num primeiro momento, considerando o navio parado em mar calmo, sem ondas, vento ou corrente, de forma que sobre ele apenas incidem as forças gravitacionais e de pressão hidrostáticas que, como discutido na questão #2, podem

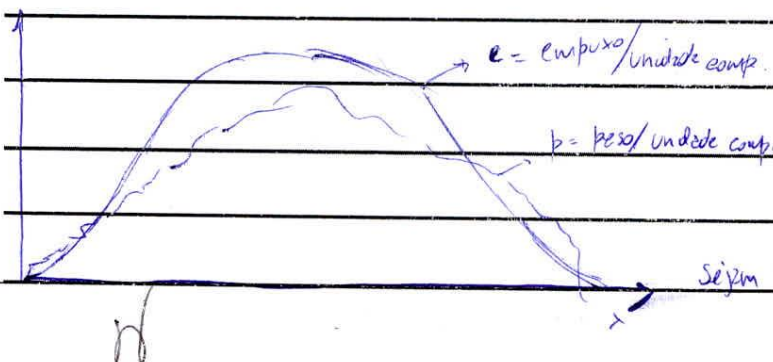
ser representadas globalmente por forças de peso e empuxo aplicadas nos centros de massa/gravidade e de carena. Para fins de análises de equilíbrio e dinâmicas de corpos rígidos, esta abordagem é comumente utilizada.



Contudo, estruturalmente o balanço entre peso e empuxo pode variar longitudinalmente, resultando em esforços

sobre a viga mais intensos em locais específicos = dependem da distribuição de massa. Ainda que os integrais ao longo

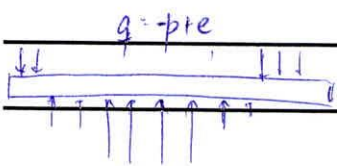
sejam idênticos e com mesmo centróide (se navio



PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

QUESTÃO Nº #1, pag. 2

... estiver em equilíbrio, a distribuição do carregamento sobre o ring navio deve ser considerado.



Seja $q(x) = -p(x) + e(x)$ o carregamento (força/comprimento) associado ao balanço de forças gravitacionais, o força cortante e o momento fletor podem ser obtidos:

$$S(x) = \int q dx$$

$$V(x) = \int p dx$$

$$M(x) = \int S(x) dx$$

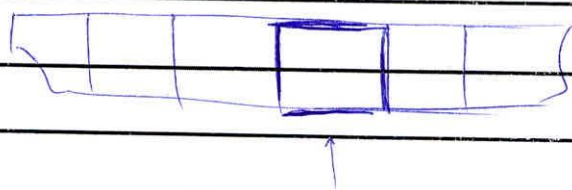
As forças de pressão sobre o casco podem também decorrer da ação de ondas. No



Caso mais crítico, ilustrado ao lado, a tendência é que haja redução de pressão nas extremidades e aumento na parte central, comparativamente à distribuição de massa e de força peso, tal que o casco

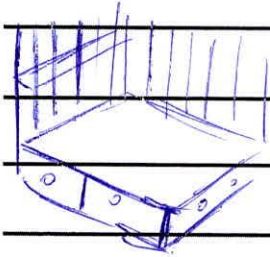
sofre momentos intensos e responde em Alquebramento. Analogamente, caso seus extremos estejam 'apoiados sobre cristas' e sua parte central sobre um cavado o casco responde em Tossemento. Assim, análises primárias são voltadas à representação do comportamento estrutural do casco de forma 'global', considerando a distribuição de carregamento gravitacional, inercial e de pressão.

Análises secundárias são aplicadas nos conjuntos compostos por chapas e reforçadores que compõem um "bloco" estrutural, por exemplo em regiões entre anteparas estancas dos porões/tanques de carga de embarcações.



PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO Nº #1, pág 3.



Enquanto nas análises primárias a rigidez não representa todas as propriedades estruturais de forma simplificada, por meio de um momento de inércia de seção em relação à linha neutra, o grau de detalhamento nas análises secundárias é substancialmente maior, descrevendo não apenas o chepeamento mas também reforçadores primários e secundários para verificar como os carregamentos são transmitidos nestes elementos e sua resposta localmente, dados esforços flexionais e torçãos induzidos sobre o bloco estrutural.

Análises terciárias são voltadas às unidades estruturais, compostas pelos chepeamentos e reforçadores, para análises locais sobre os elementos, verificação de possibilidade de flambagem ou enrugamento, etc.

Tipicamente, embarcações mais longas são mais suscetíveis a cargas flexionais, resultando na predominância de carregamentos primários sobre a estrutura. Por exemplo, para uma viga, a rigidez flexional pode ser estimada em $k_f = \frac{EI}{L}$, onde E é o módulo de Young, próprio

do material, I o momento de inércia da área seccional em relação à linha neutra e L seu comprimento, evidenciando a relação inversa entre o comprimento da viga (L) e sua rigidez.

W

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

QUESTÃO Nº #1, pag. 4

Assim, embarcações mais longas habitualmente apresentam sistema de reforçamento longitudinal com os reforçadores secundários dispostos longitudinalmente no chapeamento de fundo e do

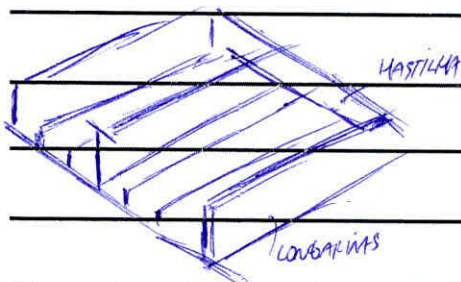
conforme (tentei) ilustrado ao lado. Reforçadores

primários transversais (Hestilhas) podem ser localizados

para reforço local de estrutura, mas provê-se o

arranjo longitudinal (secundários e longarinas) a serem

apoiadas nos hestilhas fechados/entepara.



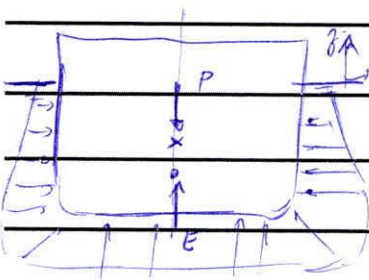
Embarcações de menor porte, por serem menos suscetíveis aos esforços flexionais, podem apresentar sistema de reforçamento transversal em prol de redução do peso estrutural.

h

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	Z7T5

QUESTÃO Nº #2

Uma embarcação flutuando livremente, sem ações externas como arde ou corrente e desconsiderando sistema de ancoragem, pode ser representada pelo diagrama de corpo livre da ao lado, explicitando que as únicas forças



agindo sobre ela são o Peso e o Empuxo.

Em relação ao empuxo, vale ressaltar que essencialmente consiste na atuação do campo de pressões hidrostáticas sobre o casco.

seja: $p(z) = p_{atm} - \rho g z$ $\vec{F}_{hs} = \int_S -\tilde{p} \cdot \vec{n} \, dS$ $\tilde{p} = p - p_{atm}$

o referencial sobre superfície livre, positivo para cima

Sabendo que o campo de pressões é conservativo, pode-se aplicar o Teorema de Gauss na função acima,

demonstrando que:

$\nabla \cdot \tilde{p} = -\rho g \hat{k} \Rightarrow \nabla p = -\rho g \hat{k}$ $\vec{F}_{hs} = \int_S -\tilde{p} \cdot \vec{n} \, dS \equiv \int_V \rho g \, dV \hat{k} = \rho g V \hat{k}$

Assim, a força Empuxo é essencialmente a força global sobre corpos imersos em um fluido desde que sua superfície esteja totalmente em contato com o fluido, conforme previsto pelo Teorema de Arquimedes.

Se o corpo está em equilíbrio: $\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \rho g V \hat{k} - mg \hat{k} = \vec{0}$
Logo: $m = \rho V$

W

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

QUESTÃO Nº #2, pág 2

Se o corpo é caracterizado por um conjunto discreto de massas, sua massa total é:

$$m = \sum_{i=1}^N m_i$$

A força peso, que pode ser vista como o somatório/integral de todos os elementos de massa m_i : ($P = \sum_{i=1}^N p_i = \sum_{i=1}^N m_i \cdot g$), pode ser representada atuando sobre o CENTRO DE MASSA / GRAVIDADE (aqui coincidentes assumindo que as variações do campo gravitacional são desprezíveis). Assim, por balanço de momentos:

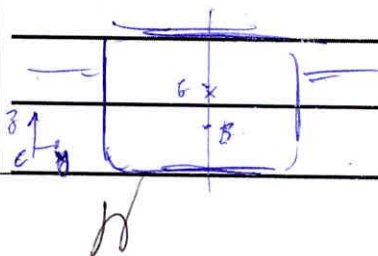
$$x_G \cdot m \cdot g = \sum_{i=1}^N x_{G_i} \cdot m_i \cdot g \Rightarrow x_G = \frac{\sum_{i=1}^N x_{G_i} \cdot m_i}{m} \quad (\text{Análogo para } y \text{ e } z)$$

Analogamente, pode-se inferir que a força Empuxo age sobre pequenos volumes infinitesimais dV que compõem o volume total $V = \int dV$, levando ao CENTRO DE OBRERA, definido como o centro de aplicação da força Empuxo e, como ilustrado abaixo, coincidente com o centro de volume submerso da embarcação:

$$x_B \cdot (\rho g V) = \int_V x \cdot \rho g dV \Rightarrow x_B \cdot V = \int_V x \cdot dV \quad \text{na forma discreta: } x_B \cdot V = \sum_{i=1}^N x_i \cdot v_i$$

(Análogo para y e z)

Assim, a segunda condição de equilíbrio pode ser aplicada sobre a embarcação adotando um referencial em um ponto arbitrário E , como ilustrado



no ldo:

$$\sum_c \vec{M} = \vec{r}_{B/c} \times \vec{E} + \vec{r}_{G/c} \times \vec{P} = \vec{0}$$

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	Z7T5

QUESTÃO Nº #2, pag 2

Como peso e empuxo são verticais, apenas as componentes horizontais dos braços devem gerar momento.

Em $x \Rightarrow \sum M_k = 0 = y_B E - y_G P \rightarrow y_B E = y_G P$, como de primeira condição $P = E$

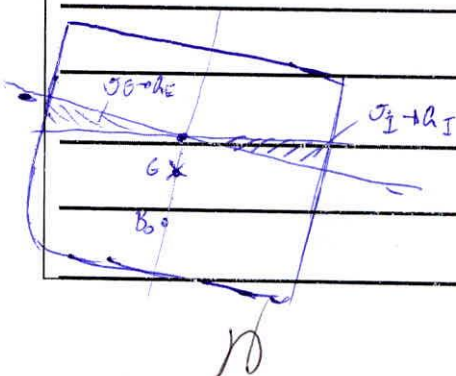
$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} y_B = y_G \\ x_G = x_B \end{array} \right\} \text{(Analogamente)}$

De primeira condição de equilíbrio, portanto, $\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow P = E \Rightarrow m = \rho V$

Da segunda condição de equilíbrio tem-se que as projeções horizontais dos centros de carena e gravidade devem coincidir.

Caracterizada a condição de equilíbrio, deve-se qualificá-la por meio da análise de estabilidade. Assumindo a mesma embarcação em condição intacta, ou seja, sem avarias que comprometem a estanqueidade do casco, numa condição perturbada:

em uma inclinação Equivolúmica, ou seja, sem alterar o volume submerso V , portanto, a primeira condição de equilíbrio tal que os volumes imerso (σ_I) e emerso (σ_E) sejam iguais. Isto ocorre quando a inclinação se dá em torno do Centro de Flutuação, definido como centroide da área de linha d'água



PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO Nº #2, pag 4

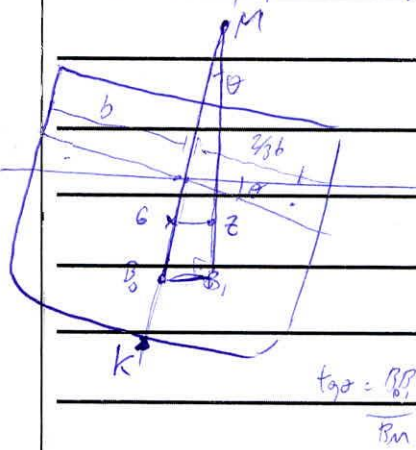
O deslocamento do centro de carena ($B_0 B_1$) se dá devido aos volumes V_I e V_E .
Para pequenos ângulos e considerando emborcadas convencionais, esses volumes se aproximam de cones, tal que:

$$V \cdot y_{B_0} = V_I y_{B_1} + V_I \frac{2}{3} b - V_E (-\frac{2}{3} b)$$

$$\Rightarrow \cancel{V \cdot y_{B_0}} = \cancel{V_I} \cdot \overline{B_0 B_1} = V \cdot h = 0 \quad \overline{B_0 B_1} = \frac{V h}{V}$$

Pelo desenho do bda: $a_I = a_E = a = \frac{b \cdot b \cdot \theta}{2} \sim \frac{1}{2} b^2 \cdot \theta$

Pelo triângulo $\Rightarrow \overline{B_0 B_1} = \overline{B M} \cdot \theta = \frac{g h}{\theta}$



Onde o ponto M do bda representa a intersecção

entre as linhas de ação de força empuxo para pequenos inclinações equivalentes ou ainda o centro da arco prescrito pelo centro de carena em pequenas inclinações e é chamado de METACENTRO. Devido à segunda definição, entende-se que a distância $\overline{B M}$ pode ser denominada de RAIO METACÊNTRICO.

Pela igualdade das expressões acima, ~~conclui~~ conclui-se que $\overline{B M} \propto \frac{V h}{V}$. A integração do arco das curvas permite calcular os volumes V , considerando o braço de atuação em $\frac{2}{3} b$ devido ao centróide de cada curva: $V \cdot h = \frac{4}{3} b \cdot \int_0^{h/b} \frac{1}{2} b^2 \theta \, dx = \theta \cdot \int_0^{h/b} y^2 \, dy = \theta \cdot I_x$

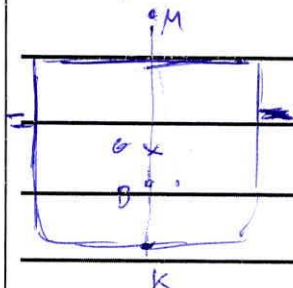
\Rightarrow Desenvolvendo: $\overline{B M} = \frac{I_{xT}}{V}$, aqui o índice "T" representando a direção transversal, e o momento de inércia I_{xT} é computado em torno do eixo longitudinal passando por y_T .

W

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO Nº 42, p55

Pela geometria adotando o quilha (K) como referência, e entendendo pelo desenho anterior que num condição perturbada de inclinação equidométrica para pequenos θ , o momento restaurador hidrostático é consequência do binário peso-Empuxo:



$$M_c = -y_G \cdot P + y_{B1} \cdot E = -P \cdot \overline{GB}, \text{ onde } \overline{GB} \text{ é o braço de endireitamento (ilustrado no pag anterior)}$$

(< 0 por ser restaurador)

Tal que, para $\theta \ll 1$: $\overline{GB} = \overline{GM} \cdot \text{sen} \theta \sim \overline{GM} \theta$

Pelo desenho acima, $K_B = K_M$

$$\Rightarrow K_B + B_M = K_G + G_M \Rightarrow \underline{G_M = K_B + B_M - K_G}$$

A Distância Metacêntrica \overline{GM} , portanto, é o parâmetro que permite quantificar a estabilidade hidrostática de corpos flutuantes, e é diretamente proporcional ao momento de restauração hidrostática. Se $\overline{GM} < 0$, o momento é positivo e, assim, embarcadouro. Se $\overline{GM} = 0$ tem-se uma condição neutra ou indiferente, e $\overline{GM} > 0$ é dito hidrostaticamente estável.

Como o raio metacêntrico depende da direção, o mesmo ocorre para o \overline{GM} :

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{GM}_T = \overline{B_M}_T + K_B - K_G, \quad \overline{B_M}_T = \frac{I_{xy}}{V} \\ \overline{GM}_L = \overline{B_M}_L + K_B - K_G, \quad \overline{B_M}_L = \frac{I_{yy}}{V} \end{array} \right.$$

rd

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	Z775

QUESTÃO Nº 2, pág. 6

Para uma embarcação esbelta como um navio mercante, tipicamente $I_{yy} \gg I_{xx} \Rightarrow \overline{BM}_L \gg \overline{BM}_T$, tal que $\overline{GM}_L \gg \overline{GM}_T$, implicando que inclinações em trim não costumam representar problemas hidrostáticos.

Em relação ao centro de gravidade, as coordenadas horizontais foram demonstradas impactar na Condição de Equilíbrio da embarcação, induzindo alterações no centro de carena, que deve coincidir com CG quando em equilíbrio, resultando em inclinações em trim (longitudinal) ou banco (transversal).

A alteração da posição VERTICAL do centro de gravidade (KG), aqui definido em relação à quilha, impacta na ESTABILIDADE de embarcação. Notadamente, quanto mais elevado o CG, menor o KB e menor o GM, ou seja, menor o momento restaurador da embarcação. Tipicamente adota-se GM mínimo de 0,15m para evitar condições marginalmente estáveis e por em risco a integridade da embarcação.

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

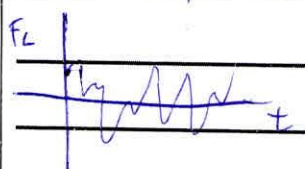
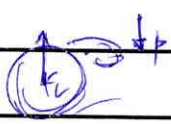
QUESTÃO Nº 3

O problema de Vibrações Induzidas por Vórtices está diretamente associado ao fenômeno de desprendimento de vórtices devido ao escoamento ao redor de corpos rombudos.

A chamada Esteira de Von Kármán, associada aos diferentes padrões de desprendimento de vórtices ao redor de cilindros circulares rígidos, ajuda a entender o fenômeno.

Para valores muito baixos de Reynolds ($Re = \frac{U \cdot D}{\nu}$), as forças viscosas são dominantes e uma camada limite laminar se forma ao longo de sua superfície, resultando em ~~forma~~ formação de uma esteira quase laminar com vórtices simétricos. Com o aumento de Re , as forças inerciais sobre a partícula fluida se intensificam e mesmo em condições nas quais a camada limite ao redor do cilindro ainda é laminar a esteira a jusante do modelo é mais turbulenta e os padrões de liberação de vórtices deixam de ser simétricos. A depender do regime, diferentes padrões oscilatórios podem ser observados, tal que os tons de baixa pressão passam a oscilar entre os lados do cilindro, resultando em forças de sustentação (perpendiculares ao escoamento incidente) variáveis e não nulas.

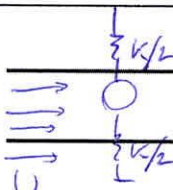
O padrão de desprendimento de vórtices, sendo que cíclico, tende a ~~seguir~~ apresentar comportamento estatisticamente bem representável, com uma frequência de liberação de vórtices que pode ser registrada.



n

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

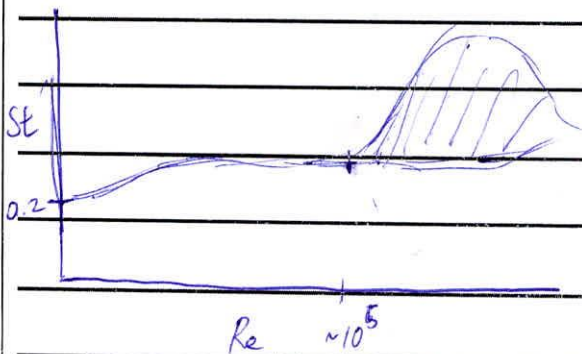
QUESTÃO Nº #3, pag 2


 Considerando agora o escoamento incidindo sobre uma estrutura cilíndrica com uma rigidez ao movimento perpendicular (k), usualmente representada como uma mola mas que fisicamente pode representar a rigidez à flexão de estruturas cilíndricas como risers, a diferença de pressão e a consequente força de sustentação aleatórias ~~tendem~~ ^{tendem} a induzir movimentos transversais da estrutura.

Seja a estrutura caracterizada por uma frequência natural, f_n , associada ao ~~seu~~ sua rigidez, sua resposta transversal dependerá da intensidade de excitação, por sua vez dependente da velocidade do escoamento e da frequência de desprendimento de vórtices.

A afiniz é usualmente representada de forma adimensional pelo número de Strouhal:

$$St = f_{vs} = \frac{L}{U}, \text{ onde } L \text{ é um comprimento característico (para o cilindro, } L=D) \text{ e } U \text{ a velocidade do escoamento incidente.}$$

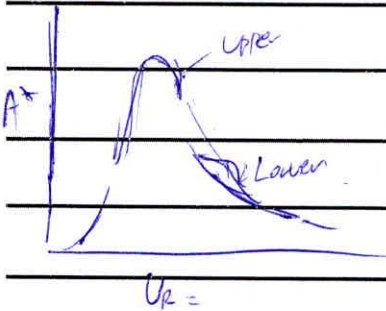


Experimentos clássicos demonstram relação entre Strouhal e Reynolds, como esboçado ao lado. Para baixos Re , o padrão de liberação de vórtices tende a ser bem comportado. Conforme Re aumenta e passa ao regime de transição $\sim 10^5$, o comportamento se torna mais caótico e a frequência de liberação de vórtices (f_{vs}) passa a variar dentro dos limites inferior e superior.

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	Z775

QUESTÃO Nº 3. pag 3

Experimentos clássicos de VIV são ~~realizados~~ realizados para relacionar a amplitude adimensional ($A^* = A/D$) à velocidade reduzida ($U_r = U/Df_n$), onde f_n é a frequência natural da estrutura.

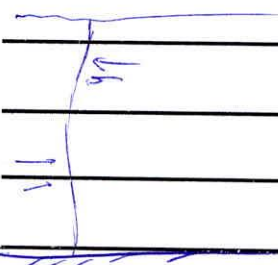


Na ~~forma~~ Tipicamente, fenômenos de VIV transversal, com apenas um grau de liberdade perpendicular à corrente incidente, ~~se~~ apresenta comportamento semelhante ao ressonância do bala, com um braço superior e um inferior.

As respostas mais intensas tendem a ocorrer quando o desprendimento de vórtices possui frequência coincidente com a frequência natural da estrutura, fenômeno conhecido como Lock-in.

Em relação à amplitude, devido à aleatoriedade do movimento, sua estimativa é usualmente feita estatisticamente por meio do desvio padrão de seu movimento, semelhante ao conceito de amplitude significativa. O efeito pode também ocorrer na direção longitudinal, levando a um problema com 2 graus de liberdade (VIV_{xy}), com movimento mais intenso em y e diferentes trajetórias prescritas pela estrutura.

O maior problema decorrente do fenômeno de VIV é o dano acumulado em longos tempos que pode reduzir a vida útil em fadiga da estrutura. Considerando um riser, por exemplo, que ficará exposto quase continuamente a diferentes perfis de velocidade ao longo de sua vida útil, os movimentos cíclicos quase ~~contínuos~~ resultarão em um dano acumulado por esforço repetitivo elevado.



16

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	Z775

QUESTÃO Nº #3, pág 4.

Ainda que o perfil de velocidade não seja constante com a profundidade ($U = U(z)$), diminuindo o esforço repetitivo em uma única direção predominante, a estrutura estará continuamente sob esforços e vibrando em consequência em diferentes modos, a depender do perfil.

As formas de mitigação visam ~~plutar~~ reduzir direções predominantes de liberação de vórtices para "espelhar" o movimento do riser. O dispositivo mais considerado para este fim é o STRAKE, riscunhado ao lado. Trata-se de uma estrutura helicoidal fixa ao longo do riser com pontas "quinzadas", tal que os vórtices sejam liberados majoritariamente nos quinzes do STRAKE. Assim, controlando as direções de liberação de forma a distribuí-las ao longo do comprimento do riser há menor predominância das forças excitadoras devido à flutuação de pressão, diminuindo também o acúmulo de esforços pela redução da amplitude.



Outros mecanismos, como as placas ou prosaidade direcional ilustrados ao lado, têm mesma finalidade e visam a redução de direções predominantes para diminuição das amplitudes de movimento de formas distintas.

Um aspecto negativo dos STRAKES é o aumento do coeficiente de arrasto do riser, podendo aumentar sua deformação por torná-lo mais suscetível a maiores forças de arrasto podendo resultar em maiores tensões por flexão

26

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	775

QUESTÃO Nº #9, pg 5

Além da análise experimental descrita anteriormente, que permite elaboração de modelos empíricos a serem utilizados com as devidas correções de Reynolds, análises computacionais são largamente implementadas.

Em CFD (Computational Fluid Dynamics) o escoamento ao redor de estruturas pode ser simulado em domínios 2D ou 3D. Análises acopladas hidro-elásticas podem ser realizadas para cada iteração resolvendo as equações de conservação de massa e de Navier-Stokes para o domínio fluido e integrando o campo de pressão e as forças cisalhantes ao redor da superfície da estrutura para definir distribuições de carregamentos a serem computados via método de elementos finitos para calcular as deformações da estrutura a serem atualizadas na iteração seguinte na redefinição das condições de contorno de impenetrabilidade e não-escoamento do escoamento nos perfis do riser, marchando no tempo discretamente. Ainda que possível em casos simplificados, o enorme esforço computacional associado ao grau de refinamento da malha fluida, ao uso de malhas móveis para descrever os movimentos do riser e os longos tempos necessários inviabilizam este prática de forma geral.

Assim, abordagens numéricas de análise no domínio do tempo baseada no uso de coeficientes hidrodinâmicos e do método de elementos finitos para a estrutura, discretizadas como um conjunto de elementos com massa e rigidez em relação ao adjacentes, são mais comuns.

Softwares comerciais como Orcaflex e Shear7 se destacam neste aplicação. O segundo, particularmente, pela uso de algoritmos empíricos calibrados para estimar o comportamento cíclico de liberação de partículas de difícil previsibilidade, lançando mão de modelos estatísticos baseados em dados experimentais.

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

QUESTÃO Nº #4.

O problema de slamming ou impacto hidrodinâmico associado a eventos de impacto no proa de navios decorre do comportamento em ondas de embarcação, no caso associado às características geométricas do navio, sua velocidade de avanço (V_s) e das propriedades da onda incidente.

De forma simplificada, o problema é usualmente abordado por meio de Teoria do Potencial, adotando escoamento incompressível, irrotacional e invíscido

$$\nabla^2 \phi = 0$$

Nestas hipóteses a onda é bem representada por funções harmônicas do tipo $e^{i(kx - \omega t)}$ e $e^{i(ky - \omega t)}$.

onde ϕ é o tempo potencial de velocidade, e dele todas as outras variáveis podem ser expressas, particularmente o campo de pressões, cuja componente dinâmica LINEARIZADA é expressa por Bernoulli: $p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t}$

De posse do campo de pressões, a força sobre o casco é dada pela integração $\vec{F} = -\int_{\Sigma} p \vec{n} dS'$ do campo de pressões ao longo do casco, compondo

a FORÇA de DIFRAÇÃO. Mais ainda, os movimentos oscilatórios de embarcação devido à excitação de onda resultam em forças de reação de RADIAÇÃO, expressas por meio dos coeficientes de massa adicional (A) e amortecimento potencial (B): $\vec{F}_R = -\sum_{k=1}^6 [A_{ij} \dot{\eta}_j + B_{ij} \ddot{\eta}_j]$ onde $\dot{\eta}_j$ e $\ddot{\eta}_j$ representam velocidade e aceleração no grau de liberdade j do corpo rígido

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	2775

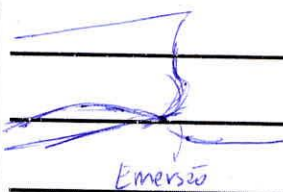
QUESTÃO Nº #4, pg 2

Considerando as forças descritas de forma simplificada bem com forças/momentos de restauração hidrostáticos representados por: $F_{rsi} = - \sum_{j=1}^6 C_{ij} \eta_j$, a equação do movimento do navio associado ao seu movimento oscilatório em torno do eixo que acompanha sua translação devido à velocidade de serviço VS é:

$$([M] + [A]) \ddot{\eta} + [B] \dot{\eta} + [C] \eta = \vec{F}_D$$

onde η é seu vetor de movimento de corpo rígido e $[M]$ sua matriz inercial.
dependem de frequências ω

Assim, conforme o navio é excitado pelas ondas ele se move em resposta. Um comentário adicional é que tipicamente se entende que as ondas geradas pelo navio são substancialmente inferiores às incidentes, tal que despreza-se seus efeitos no cálculo de resposta oscilatória do corpo. A correção mais habitual é feita pelo ajuste da FREQUÊNCIA DE ENCONTRO: $\omega_e = \omega + \cos \beta \cdot \omega / U$, onde β é o ângulo de incidência em relação à proa da embarcação.



Emersão

Assim, se houver uma situação ou um evento de EMERGÊNCIA da proa, a depender de suas características e de onda incidente durante a fase de RE-ENTRADA a estrutura do navio irá sofrer uma carga de impacto ao se chocar com a superfície livre

80

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO Nº #4. pg 3

As cargas de slamming são tidas como impulsivas, ou seja, altíssimas frequências (a ITTC recomenda valores acima de 1kHz em milésimas de segundo, por exemplo) ou baixíssimas durações, sendo bem representadas por funções Delta de Dirich.

As forças decorrentes do impacto dependem diretamente do comportamento em ondas da embarcação, que por sua vez dependem de vários fatores como formato da careca, distribuição de massa, velocidade de avanço, frequência de onda incidente, ângulo de incidência, altura e outras propriedades de onda. A depender desses fatores, maior poderá ser a altura de emersão da proa, ao que se destaca se tratar do movimento RELATIVO, ou seja, grau de elevação da proa em relação à elevação da superfície livre. Este aspecto implica na importância em se considerar a fase de resposta além da amplitude de resposta!

Uma vez emerso, a velocidade de reentrada passa a ser relevante ao problema, normalmente dependendo dos parâmetros listados acima que influenciam a velocidade de corpo rígido da embarcação e a velocidade de subida da superfície livre, novamente destacando a diferença de fase dos movimentos por se tratar de uma velocidade relativa.

O formato da proa é bastante importante nesta análise. Quanto mais próximo de plano em sua base, mais severo tende a ser o carregamento. Por outro lado, quanto mais "perfurada" como uma cunha, mais o escoamento consegue contornar e menor tende a ser a pressão decorrente do impacto. Por este motivo perfis bulbosos em V (nó) tendem a apresentar melhores características associados a bow slamming que perfis delta (Δ), por exemplo.

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA C- 208 – BLOCO C – ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 09/12/2024	7775

QUESTÃO N° #9, pg 4.

Estruturalmente, os altos valores de força impulsiva agem sobre o casco e são transmitidos pelos elementos estruturais internos da região de proa. Em casos catastróficos, o carregamento pode resultar em falhas de determinados elementos estruturais, até mesmo do próprio casco. As altas frequências associadas ao impacto são transmitidas pela estrutura, podendo entrar em ressonância com elementos ou apêndices instalados no casco. A alta incidência desses eventos pode resultar em falhas por fadiga de elementos estruturais ou outras estruturas instaladas no casco.

Em relação ao primeiro, caso algum modo natural de partes da estrutura seja excitado pode resultar em um comportamento semelhante ao decumulo com vibrações intensas sendo transmitidas podendo entrar em ressonância. ~~problema este ref~~