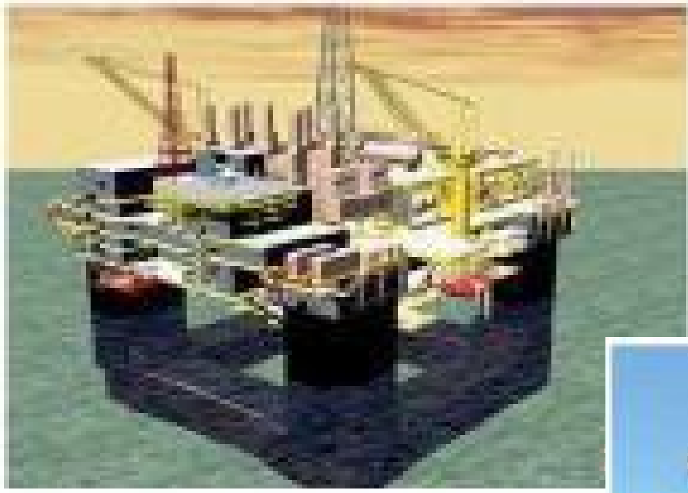
PNV 3425
Resposta em Ondas de Estruturas Oceânicas (Semissubmersíveis)

Prof. Claudio Muller Sampaio

Prof. Bernardo Andrade

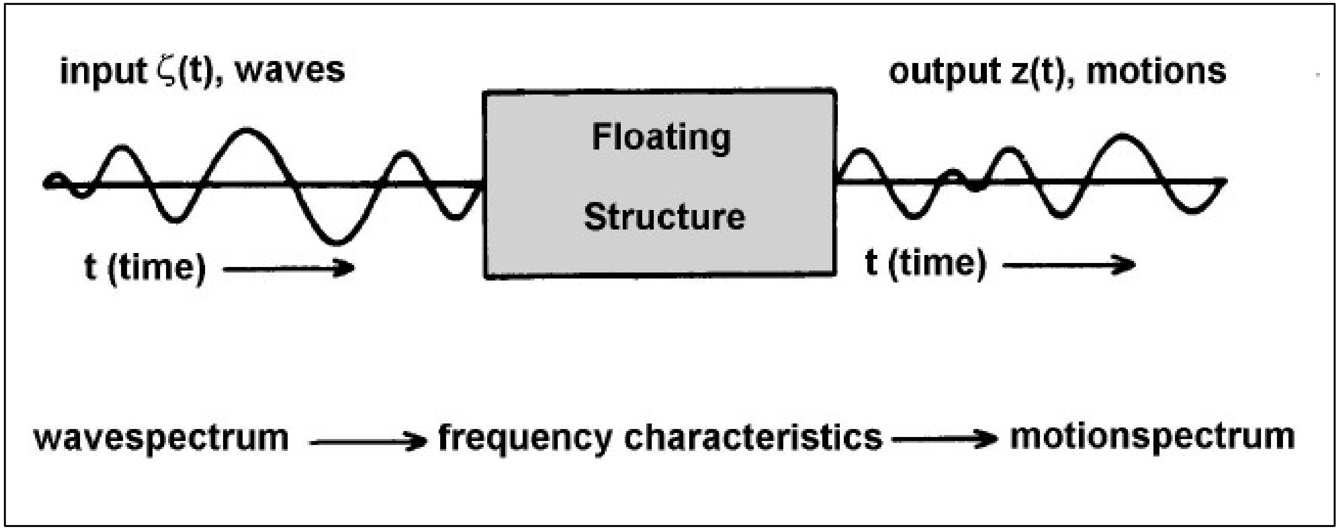
Prof. Kazuo Nishimoto

Plataforma SS – Produção



Dinâmica do Sistema Flutuante

- Conceito de Função de Transferência dos Movimentos



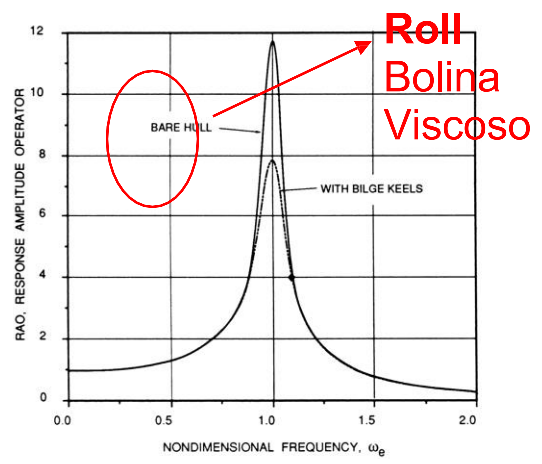
- Função de transferência relaciona:

ondas ⟷ movimentos

espectro de ondas ⟷ espectros de movimentos

Dinâmica do Sistema Flutuante

- Movimentos no plano vertical - resposta à ação das ondas
  - Os movimentos de ***heave***, ***roll*** e ***pitch, tanto isolados como combinados,*** induzem movimentos verticais em qualquer posição da plataforma
    - Maior preocupação em termos de comportamento no mar, pois podem produzir deslocamentos e acelerações excessivas no convés (planta de produção) e nas conexões com os Risers;
  - Esses movimentos têm **restauração hidrostática** e, portanto, **frequências naturais** definidas;
  - Equações movimento
    $\Rightarrow$Sistema tipo massa-mola-amortecedor;
  - **Amortecimento** ;
    - Geração de ondas;
    - Movimentos tem parcela viscosa;



Dinâmica do Sistema Flutuante

- Movimento vertical de ***heave***:
  - Restauração: Variação do volume de deslocamento (variação do empuxo)

área da linha d´água - water plane area

$$\delta F = \rho g A_{wl} \delta z$$

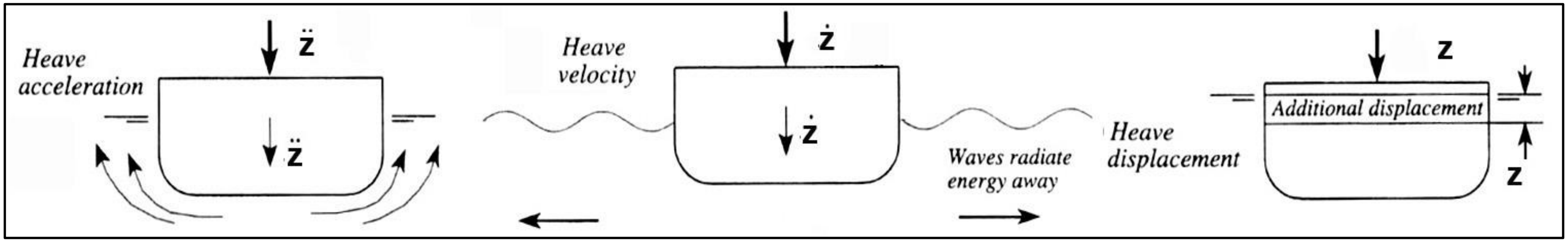
  - Eq. do movimento:

Coeficiente de Amortecimento

Massa (kg)

$$(\Delta + M_A)\frac{d^2 z}{dt^2} + B_H \frac{dz}{dt} + \rho g\, A_{wl}\, z = F_H(t)$$

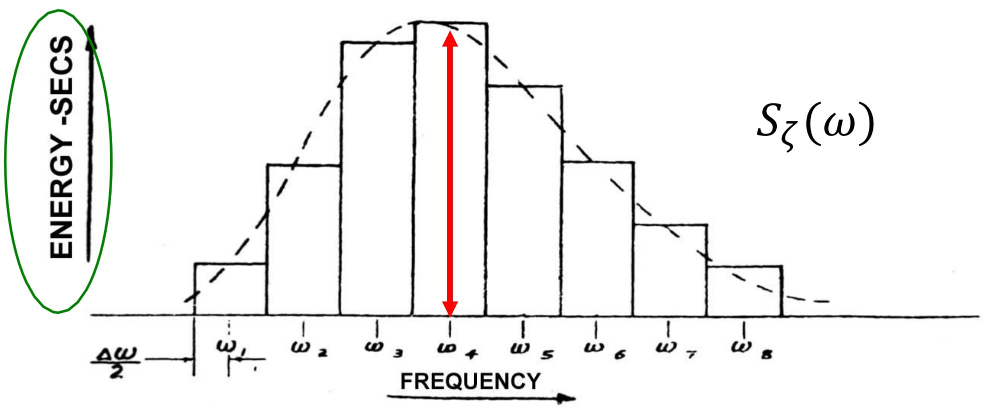
Massa Adicional (kg)



  - Período natural: $T_n = \dfrac{2\pi}{\omega_n} = 2\pi\sqrt{\dfrac{(\Delta + M_A)}{\rho g\, A_{wl}}}$

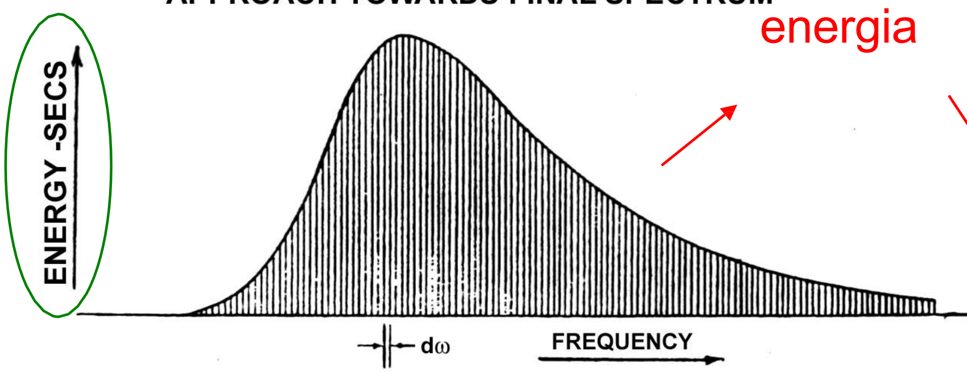
RESPOSTA NO MAR IRREGULAR - Espectro de Energia

- Espectro de Energia - Ondas
  - Padrão de ondas do mar não se repete – Conteúdo energia total define estado mar;
  - Medida da densidade de energia, frequência ω_m



$S_\zeta(\omega)$

APPROACH TOWARDS FINAL SPECTRUM



energia

Amplitude da onda

$$S_\zeta(\omega_m)\Delta\omega = \frac{1}{2}\zeta_m^2$$

energia

$$S_\zeta(\omega_m) = lim_{\Delta\omega\to 0}\left[\frac{1}{\Delta\omega}\sum_{\omega_m}^{\omega_m+\Delta\omega}\frac{1}{2}\zeta_m^2\right]$$

$$\int_0^\infty S_\zeta(\omega)d\omega = m_0 = \sigma^2 = (RMS)^2$$

MAR IRREGULAR

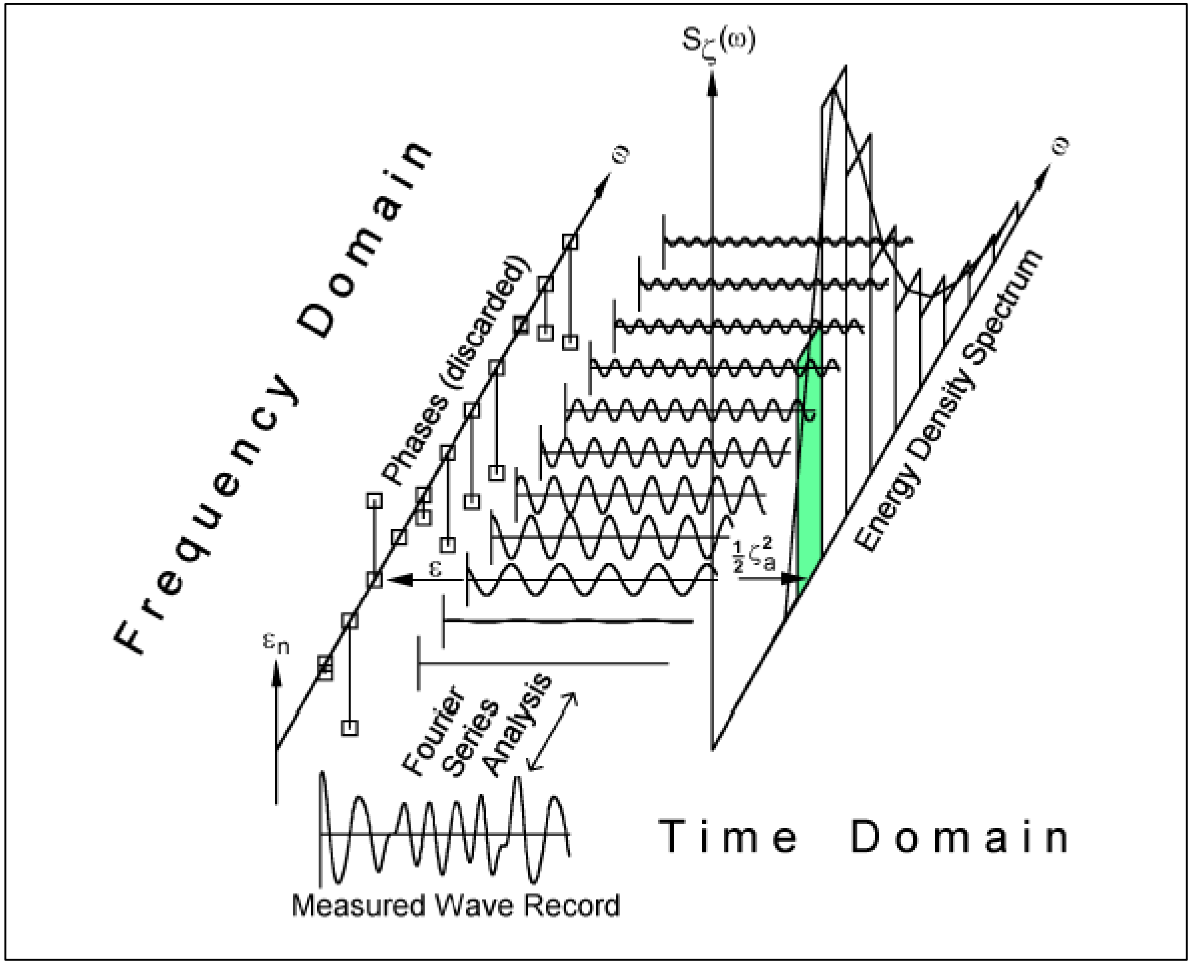
- Parâmetros Estatísticos Importantes
  - Momentos Espectrais: $m_k = \int_0^\infty \omega^k S_\zeta(\omega)d\omega$
  - Desvio-padrão: $\sigma = RMS = \sqrt{m_0} = \sqrt{\int_0^\infty S_\zeta(\omega)d\omega}$
  - Amplitude Significativa: $A_{1/3} = 2\sqrt{m_0}$
  - Altura Significativa: $H_{1/3} = 4\sqrt{m_0}$

Altura Máxima ≅ $1,86H_{1/3}$

  - Período médio (central): $\bar{T} = 2\pi\frac{m_0}{m_1}$
  - Período médio entre zeros ascendentes: $T_z = 2\pi\sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$

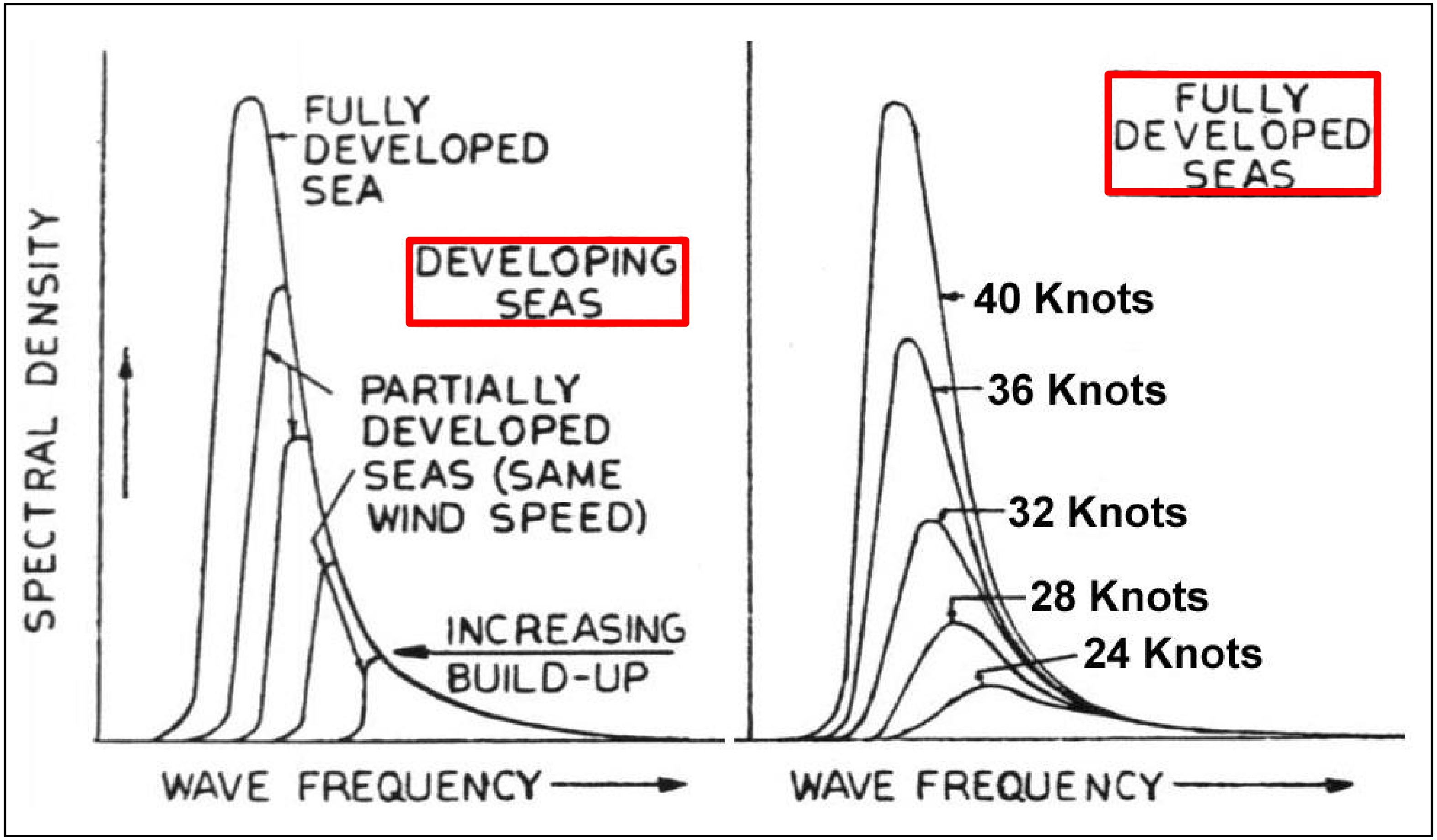
Espectro de Energia

- Interpretação



Espectro de Energia

- Efeito duração e velocidade



Espectros de Energia Padrão

- Espectro de Pierson-Moskowitz

  - Pierson & Moskowitz (1963): Análise de grande número de registros do Atlântico Norte.
    - Região Aberta - Mares plenamente desenvolvidos

$$S_\zeta(\omega) = 0{,}0081 g^2 \omega^{-5} exp\left\{-1{,}25\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right\}$$

ω_P - Frequência de pico

Espectros de Energia Padrão

- Espectro de JONSWAP
  - *Joint North Sea Wave Project* (1968-1969)
  - Goda (1979)

$$S_\zeta(\omega) = \alpha^* H_s{}^2 \frac{\omega^{-5}}{\omega_p{}^{-4}} exp\left\{-1{,}25\left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right\} \gamma^{exp\left\{-\frac{(\omega-\omega_p)^2}{2\tau^2\omega_p{}^2}\right\}}$$

Onde: $\alpha^* = \dfrac{0{,}0624}{0{,}230 + 0{,}0336\gamma - 0{,}185(1.9+\gamma)^{-1}}$

Peakness factor

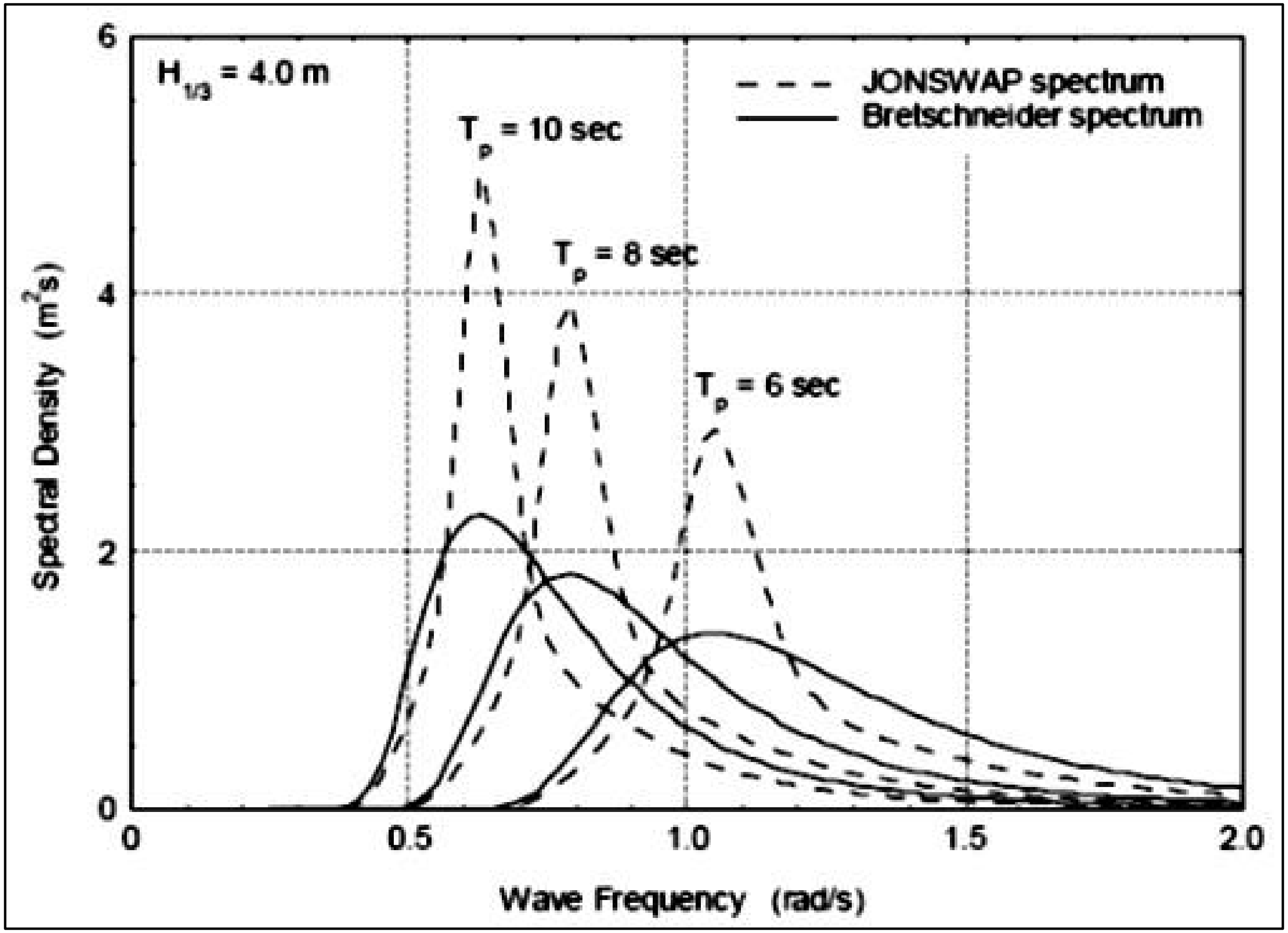
$\gamma = 3.3$

$$\tau = 0.07; \quad \omega < \omega_p$$

$$\tau = 0.09; \quad \omega > \omega_p$$

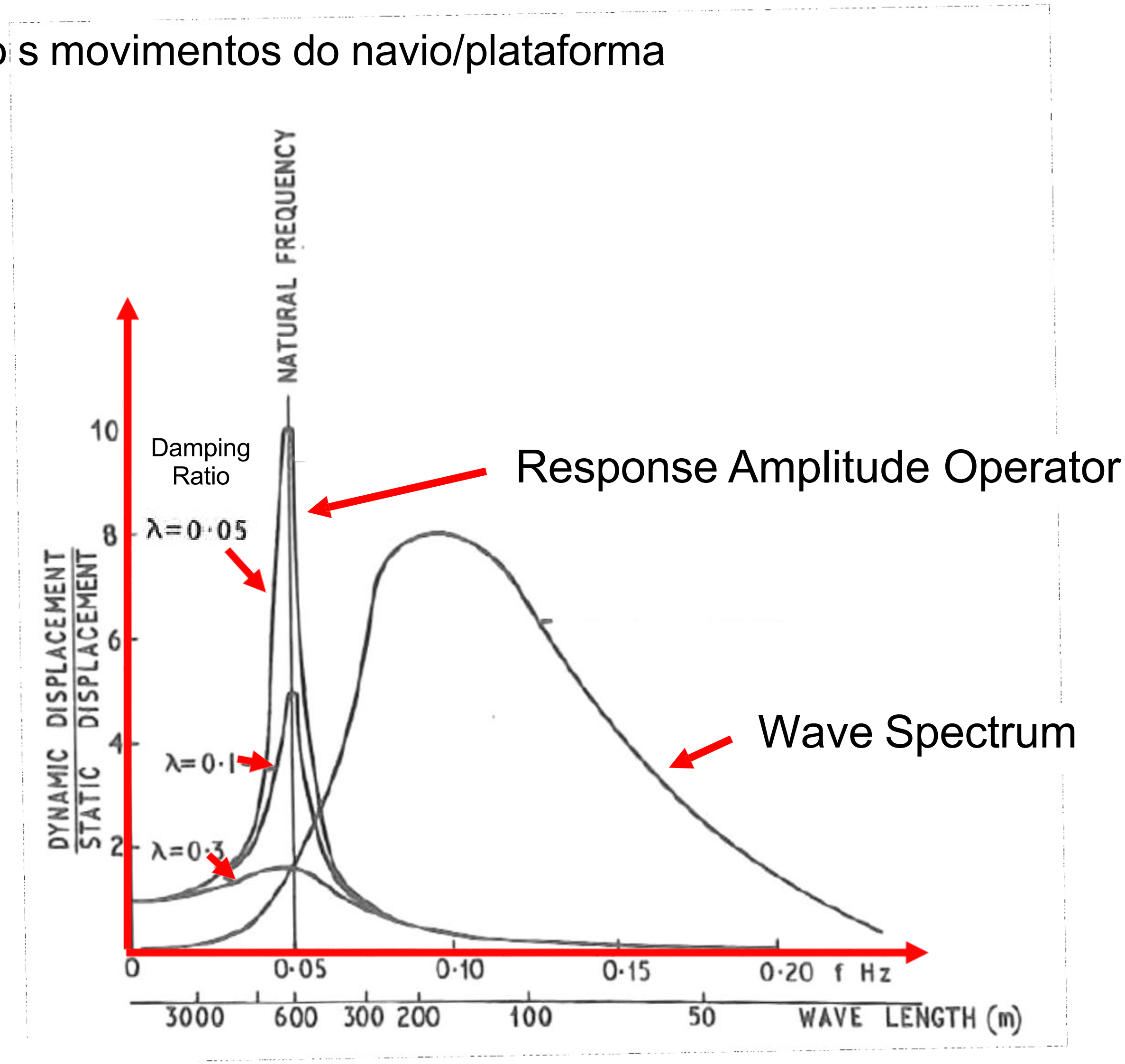
Espectros de Energia Padrão

- Comparação



Resposta em Ondas Irregulares

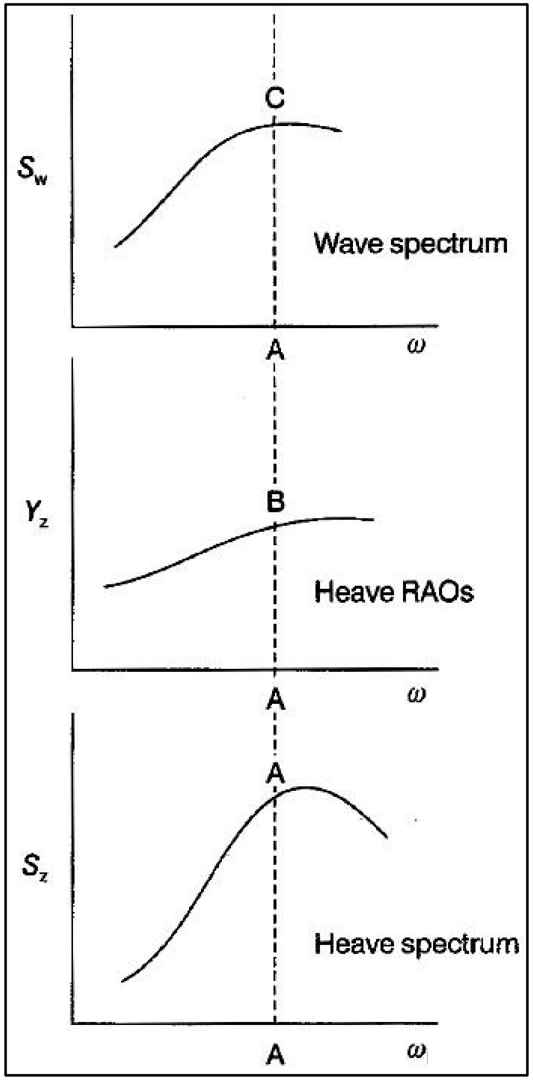
- Representar o s movimentos do navio/plataforma



Resposta em Ondas Irregulares

- Representar os movimentos do navio/plataforma em ondas regulares (frequências definidas)
  $\Rightarrow$ RAOs;
- Desejamos: Calcular as estatísticas de resposta, em determinado estado de mar (ondas irregulares);
- Conhecidos RAOs do sistema, podemos determinar o espectro de energia do movimento (espectro de resposta) excitado por determinado espectro de mar;
- Suponhamos: Movimento com amplitude dada por Z^h. O espectro de energia do movimento é, por definição:

$$S_h(\omega)d\omega = \frac{1}{2}\left|Z^h\ (\omega)\right|^2$$



Resposta em Ondas Irregulares

- Reescrevendo:

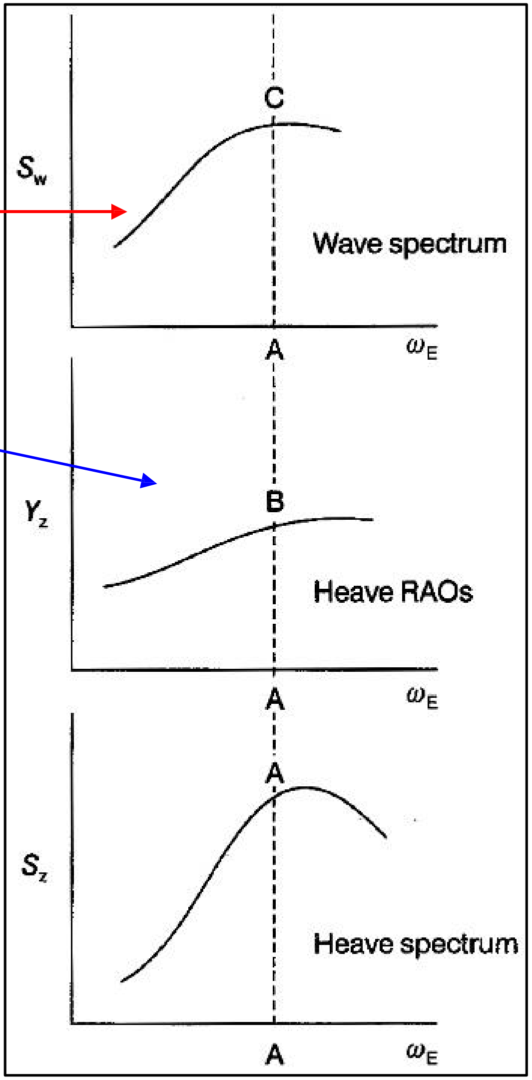
$$S_h(\omega)d\omega = \left|\frac{Z^h(\omega)}{A(\omega)}\right|^2 \frac{1}{2}A(\omega)^2 d\omega$$

RAO

Cruzamento Espectral

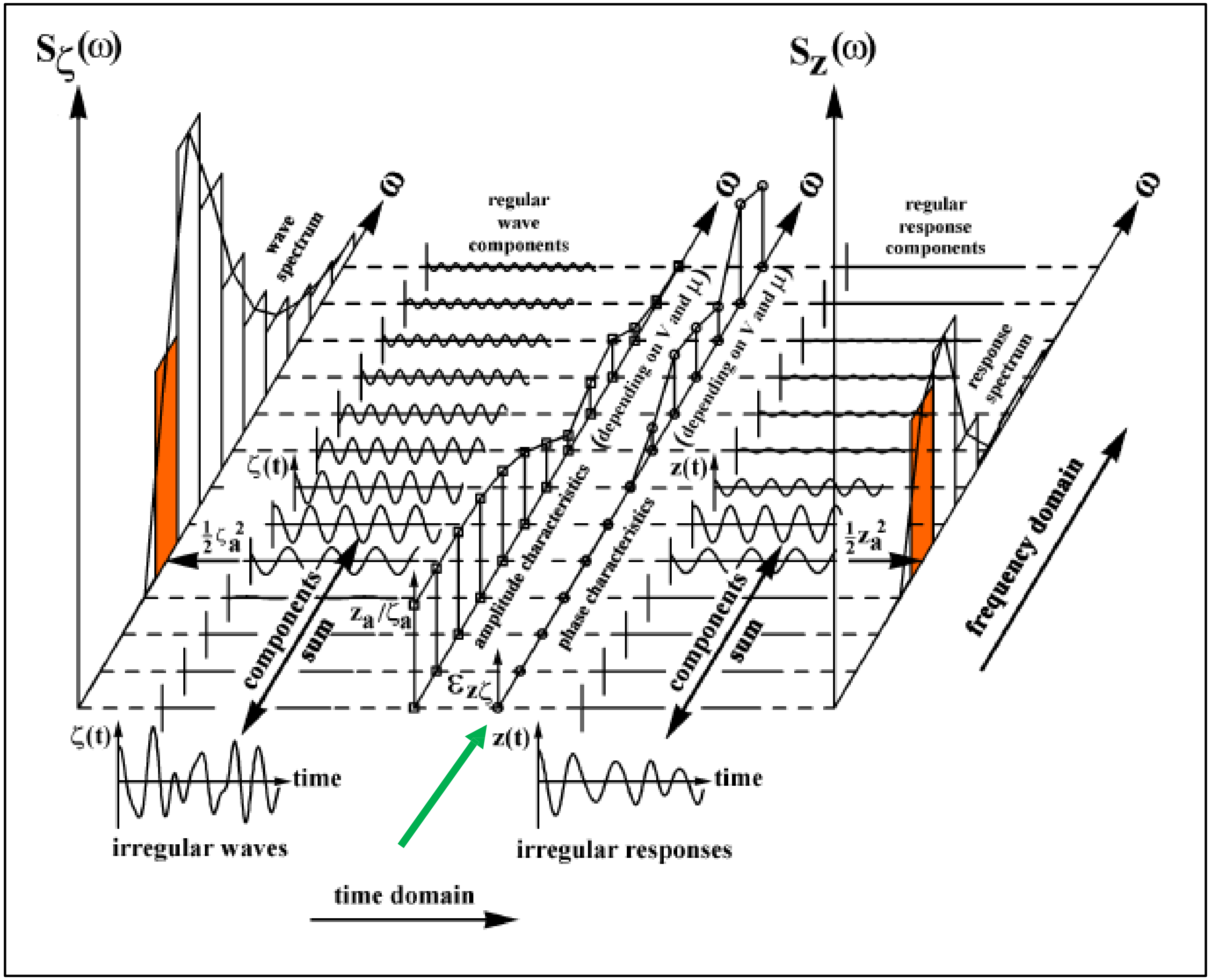
- Espectro do Movimento:

$$S_h(\omega) = RAO(\omega)^2 S_\zeta(\omega)$$



Resposta em Ondas Irregulares

- Cruzamento espectral: Interpretação



Resposta em Ondas Irregulares

- De posse espectro de resposta, podemos calcular parâmetros estatísticos importantes dos movimentos:

Momentos espectrais: $$\boldsymbol{m_{h,k} = \int_0^\infty \omega_k S_h(\omega) d\omega}$$

Amplitude significativa: $$\boldsymbol{Z^h_{1/3} = 2\sqrt{m_{h,0}}}$$

Altura Significativa: $$\boldsymbol{H^h_{1/3} = 4\sqrt{m_{h,0}}}$$

Altura Máxima $\cong$ $\boldsymbol{1,86 H^h_{1/3}}$

Período médio (central): $$\boldsymbol{\overline{T}^h = 2\pi \frac{m_{h,0}}{m_{h,1}}}$$

Período entre zeros ascendentes: $$\boldsymbol{\overline{T}^h_z = 2\pi \sqrt{\frac{m_{h,0}}{m_{h,2}}}}$$