

# 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



## TÍTULO DO TRABALHO:

Análise da Dinâmica Não Linear de Corpos Flutuantes no Domínio do Tempo

## AUTORES:

Julio César Fernández Polo

Marcelo de Almeida Santos Neves

## INSTITUIÇÃO:

COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro

*Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.*

## Análise da Dinâmica Não Linear de Corpos Flutuantes no Domínio do Tempo

### Abstract

In this work, a methodology for study the dynamic stability of floating systems is presented. A non-linear time-domain numerical model is used for the simulations of the motions of the floating systems in regular waves. The numerical model describes the floating systems with the full six degrees of freedom. The inertial actions are taken as non-linear with couplings up to the second order. The non-linear incident wave and hydrostatic restoring forces and moments are evaluated considering the instantaneous wetted surface whereas the hydrodynamics forces of radiation and diffraction are modeling with the potential theory on the mean wetted surface. The non-linear roll damping due to the viscosity is modeled from roll free decay tests with scale models. This numerical model is applied to two different bodies: a mono-column and a VLCC type ship transformed into a FPSO platform, which has mooring lines. Validation of the results of the simulations is doing by comparison with the WAMIT potential linear model for the mono-column and with experimental data for the VLCC type ship.

### Introdução

No estudo do comportamento em ondas de sistemas flutuantes tem-se assumido por longo tempo que tal pode ser feito empregando-se modelos lineares. Mas apesar de poder prever o comportamento dos sistemas flutuantes com essas teorias, eles ainda sofrem de movimentos indesejáveis ou inseguros, decorrendo em riscos para tripulantes, a própria embarcação e o meio ambiente. Por tais motivos é necessário passar a modelos mais realistas levando em conta diversas ações não lineares, no intuito de garantir a estabilidade das embarcações. É por isso que o modelo matemático que descreve os movimentos das embarcações deverá ter um alto grau de complexidade para poder captar fenômenos raros ou estranhos que escapam às modelações lineares. No trabalho, as ações inerciais, de amortecimento, hidrostáticas e de excitação das ondas incidentes serão modeladas não linearmente. O código computacional que resolve as equações de movimento dos sistemas flutuantes com as considerações descritas é chamado DSSTAB.

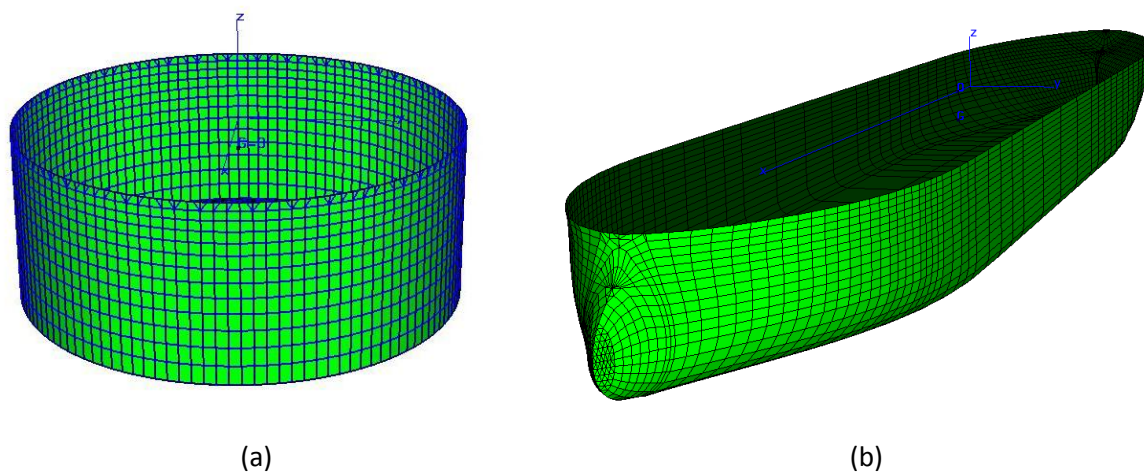


Fig. 1 Corpos estudados. (a) mono-coluna. (b) navio tipo FPSO.

| Características dos corpos |        |             |
|----------------------------|--------|-------------|
| Denominação                | FPSO   | Mono-coluna |
| Comprimento [m]            | 337.06 | 110         |
| Boca [m]                   | 54.5   | 110         |
| Pontal [m]                 | 27.8   | 65          |
| Calado [m]                 | 21     | 43          |

Tabela 1. Características principais dos corpos estudados

O objetivo principal do trabalho é poder avaliar o modelo matemático do DSSTAB, para depois fazer estudos de estabilidade dinâmica em ondas. As geometrias a estudar serão: uma mono-coluna de paredes planas e um navio do tipo FPSO. Na fig. 1, podem-se ver as malhas computacionais das geometrias a estudar. No entanto, na tabela 1, se amostram as características principais dos corpos a estudar.

## Metodologia

O análise da estabilidade dinâmica de sistemas flutuantes será feito analisando as respostas geradas com o modelo numérico do DSSTAB para distintas condições de ondas incidentes. Mas, num primeiro instante, deve ser feita uma avaliação do modelo numérico para cada corpo a estudar. No caso da mono-coluna, devido ao que não se dispõe de resultados experimentais com as qualificações que seriam requeridas para uma validação abalizada; a avaliação foi feita fazendo comparações entre as simulações numéricas do modelo matemático não-linear e simulações numéricas feitas com o modelo potencial linear do WAMIT para distintas condições de ondas de pequena e mediana amplitude. Já para o navio tipo FPSO, a avaliação foi feita fazendo comparações entre as simulações do modelo matemático não-linear e series temporais obtidas de testes experimentais feitos no LabOceano de um modelo em escala reduzida do navio.

## Resultados e Discussão

No caso da mono-coluna, as comparações para uma onda de baixa amplitude ( $A_w = 0.1\text{m}$ ) e de mediana amplitude ( $A_w = 1\text{m}$ ) foram feitas para ondas com períodos de 30, 32, 34, 36 e 38 segundos e ângulo de incidência de 180 graus. Nas fig. 2-4 se amostram as comparações com uma onda de pequena amplitude com  $T=30\text{ s.}$  e uma onda de mediana amplitude com  $T=32\text{ s.}$  respectivamente.

Com o modelo avaliado para o caso da mono-coluna, foi feito um estudo de ressonância paramétrica. O fenômeno da ressonância paramétrica pode ser expresso com a ajuda da bem conhecida equação de Mathieu. Esta equação apresenta diversas regiões de instabilidade, sendo que a condição para atingir sua primeira região de instabilidade é que a frequência de excitação é igual ao dobro da frequência natural do movimento não excitado diretamente. O estudo foi feito com uma excitação em heave e garantindo que a frequência natural do pitch é igual ao dobro da frequência em heave, a qual coincide com a frequência da onda incidente de amplitude  $A_w = 1\text{m}$  e  $T=17\text{s.}$  A fig. 5 mostra as respostas em heave e pitch para a condição de ressonância paramétrica na primeira região de instabilidade da equação de Mathieu.

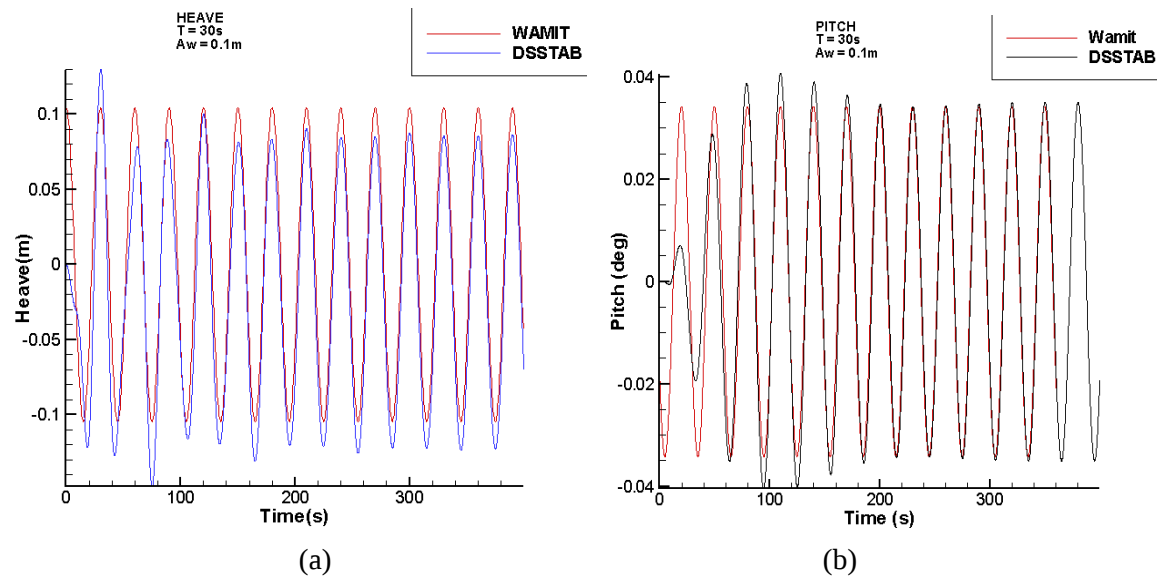


Fig. 2 Excitação com onda de pequena amplitude. (a) resposta em pitch. (b) resposta em heave.

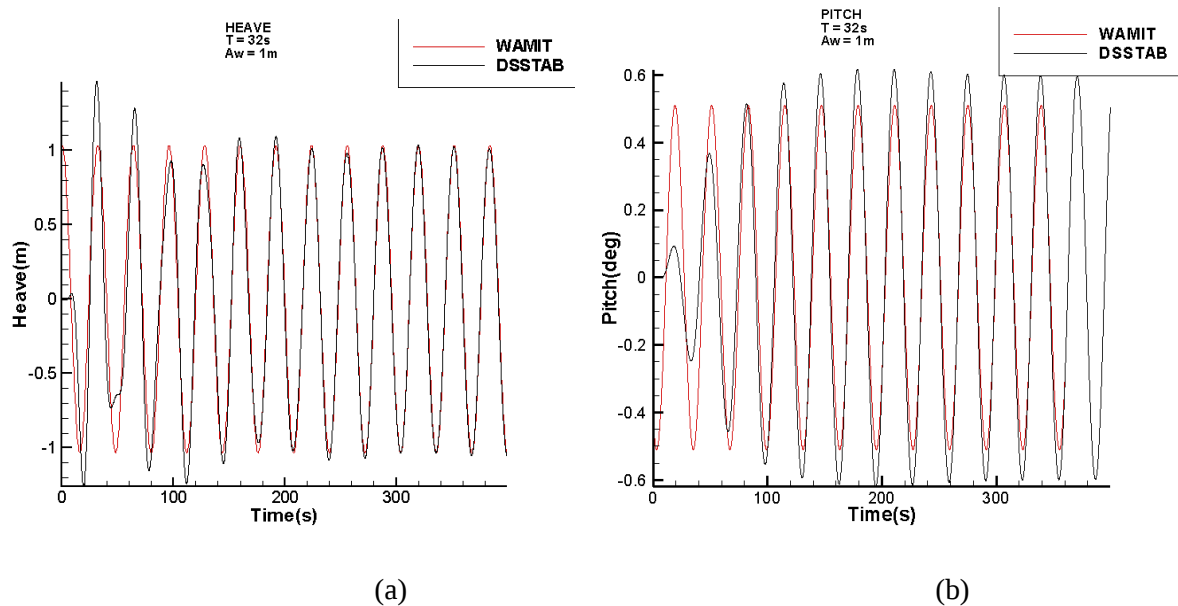


Fig. 3 Excitação com onda de mediana amplitude. (a) resposta em heave. (b) resposta em pitch.

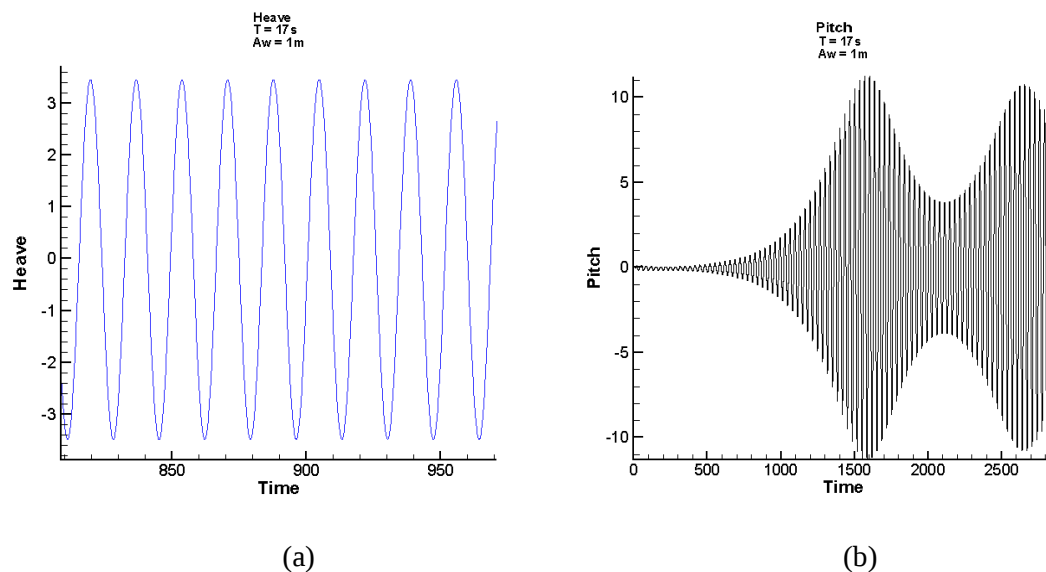


Fig. 4 Excitação em condição de ressonância. (a) resposta em heave. (b) resposta em pitch.

No caso do navio tipo FPSO, na atualidade segue-se melhorando o comportamento das respostas obtidas com o modelo matemático. Devido a isto, ainda não tem-se feito um estudo de estabilidade com este corpo. Na fig. 6, se amostra comparações entre simulações numéricas feitas com o modelo não-linear e testes experimentais para uma onda regular com ângulo de incidência de 180 graus,  $A_w = 3.5$  m e  $T=11.71$  s; nessa figura pode-se ver a comparação para a duração total do teste experimental. No entanto, na fig. 7 se amostra a comparação na região permanente da simulação numérica para a mesma onda. A fig. 8 amostra uma comparação entre uma simulação numérica com o modelo não-linear e um teste de decaimento livre em pitch, para um período  $T=10.5$  s e ângulo inicial de roll  $\phi_0=2.051$  deg.

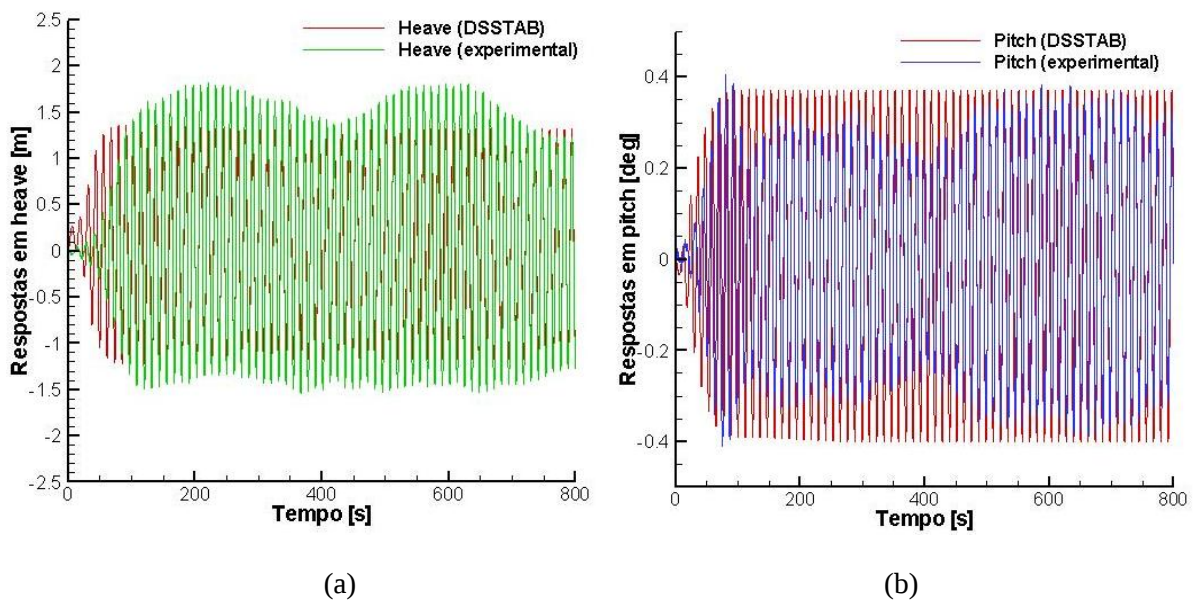


Fig. 5 Comparação para o tempo total do teste experimental. (a) resposta em heave. (b) resposta em pitch.

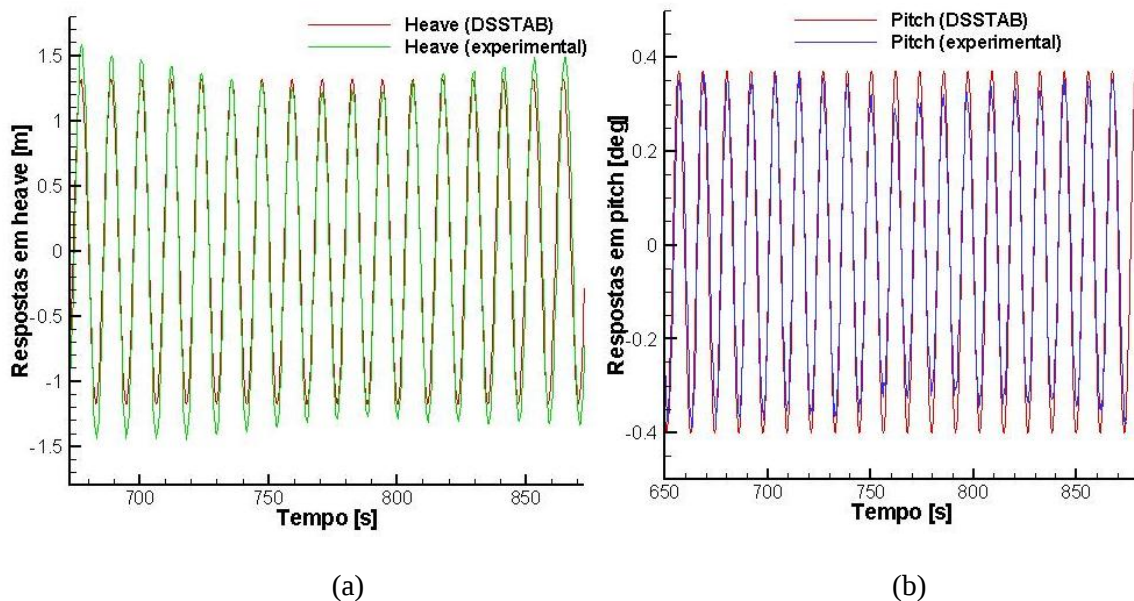


Fig. 6 Comparação para rango do tempo entre 650 e 900 segundos. (a) resposta em heave. (b) resposta em pitch.

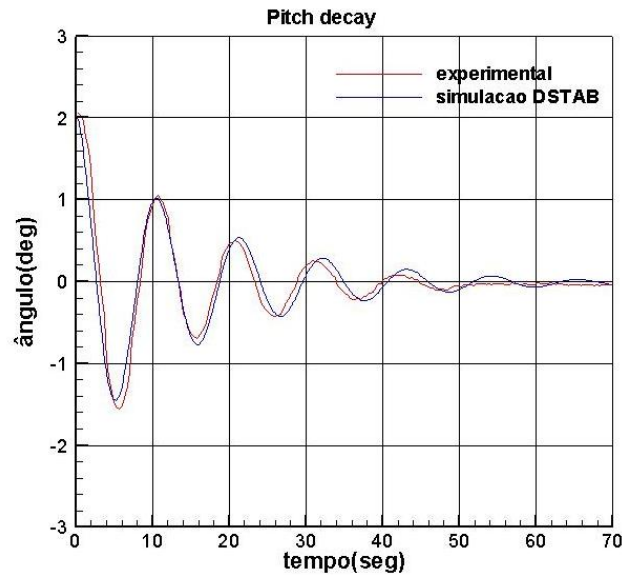


Fig. 7 Decaimento livre em pitch.

## Conclusões

Observando os resultados apresentados para o caso da mono-coluna, provou-se a correspondência entre a teoria potencial linear do WAMIT e o modelo matemático não-linear para ondas de pequenas e medianas amplitudes. Demonstrando-se que o modelo numérico do DSSTAB é aplicável para o estudo do comportamento em ondas na mono-coluna.

Como pode ser visto o fenômeno de ressonância paramétrica foi observado na mono-coluna para a primeira região de instabilidade da equação de Mathieu, pois existe uma grande amplificação no movimento de pitch. Isto é devido ao efeito da atenuação da pressão da onda, levado em conta mediante a integração da pressão de onda incidente até a superfície livre instantânea.

No entanto, dos resultados apresentados para o caso do navio tipo FPSO, provou-se que o modelo numérico do DSSTAB pode simular os movimentos deste navio. Isto apesar de que as séries temporais do teste experimental apresentam claras diferenças com as simulações do DSSTAB, em especial nos primeiros instantes do movimento. Mas, deve-se notar que na região onde o movimento atinge um regime permanente, a correspondência entre o modelo numérico e o teste experimental é clara. Já para o decaimento livre em pitch, demonstrou-se que o modelo permite a predição adequada do movimento de pitch.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Recursos Humanos (prh) da Agência Nacional do Petróleo pelo suporte financeiro. Da mesma forma agradecem aos professores, pessoal administrativo e companheiros do Programa de Engenharia Naval e Oceânica da COPPE.

## Referências Bibliográficas

ABKOWITZ, M. A., 1969, Stability and Motion Control of Ocean Vehicles. Massachusetts, The United States of America, The M. I. T. Press.

AHMED, T. M., HUDSON, D. A., TEMAREL, P., 2010, “An Investigation into Parametric Roll Resonance in Regular Waves Using a Partly Non-Linear Numerical Model”, Ocean Engineering.

BELENKY, V. L., SEVASTIANOV, N. B., 2007, Stability and Safety of Ships: Risk of Capsizing. SNAME, Jersey City, ISBN 0-939773-61-9.

BLOCKI, W., 1980, “Ship Safety in Connection with Parametric Resonance of the Roll”. International Shipbuilding Progress, vol. 27, no. 306, pp. 36-53.

DEAN, R., DALRYMPLE R., 1991, Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Advance Series on Ocean Engineering.

HOOFT, J. P., 1982, Advanced Dynamics of Marine Structures. New York, The United States of America, John Wiley & Sons, Inc.

JOURNÉE, J.M.J., MASSIE, W.W., 2001, Offshore Hydromechanics. Delft University of Technology, Delft.

KERWIN, J. E., 1955, “Notes on Rolling in Longitudinal Waves”, International Shipbuilding Progress, vol. 2, no. 16, pp. 597-614.

NEVES, M. A. S., 2002, “On the Excitation of Combination Modes Associated with Parametric Resonance in Waves”. In: Proceedings of the 6th International Ship Stability Workshop (ISSW’2002), Webb Institute, New York.

NEVES, M. A. S., RODRIGUEZ, C. A., 2006a, “On Unstable Ship Motions Resulting form Strong Non-Linear Coupling”. Ocean Engineering, vol. 33, no. 14 (Oct), pp. 1853-1883.

PAULLING, J. R., 1961, “The Transverse Stability of a Ship in a Longitudinal Seaway”. Journal of Ship Research, vol. 4, no. 4 (Mar.), pp. 37-49.

PAULLING, J. R., ROSENBERG, R. M., 1959, “On Unstable Ship Motions Resulting From Non-Linear Coupling”, Journal of Ship Research, vol. 3, no. 1 (Jun.), pp. 36-46.

RODRIGUEZ, C.A., 2010, Sobre a Dinâmica Não Linear do Balanço Paramétrico. Tese de D.Sc., COPPE - Eng. Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SPYROU, K. J., 2000, “Designing Against Parametric Instability in Following Seas”, Ocean Engineering, vol. 27, no. 6 (Jun), pp. 625-653.

WAMIT INC., 2006, WAMIT® USER MANUAL. WAMIT Inc. & Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts.