

7 Conclusões

No presente trabalho foi desenvolvido um método numérico para a análise dinâmica bi-dimensional de uma bóia de superfície cilíndrica, ancorada ao fundo marinho através de uma linha flexível extensível e sujeita à ação de ondas de superfície, correnteza marinha, peso próprio e empuxo. A bóia de superfície, considerada indeformável, possui três graus de liberdade: dois de deslocamento linear (*surge* e *heave*) e um de deslocamento angular (*pitch*). Para a modelagem das ondas de superfície, adotou-se a teoria linear – teoria de Airy –, associada à modificação empírica de Wheeler para a obtenção da cinética e da cinemática das partículas do fluido até a superfície livre. Para a obtenção das forças resultantes da ação das ondas considerou-se a abordagem de corpos esbeltos, na qual a força é decomposta numa parcela viscosa, igual à parcela de arraste da formulação de Morison, e numa parcela não-viscosa, considerada como a soma de uma força de Froude-Krylov com a parcela de massa adicional da formulação de Morison. Nesta abordagem, desprezaram-se os efeitos da difração e da radiação causados pelo corpo sobre o movimento do fluido. A integração numérica das forças atuantes sobre a bóia foi efetuada ao longo do comprimento molhado instantâneo da bóia de superfície, calculado em cada passo de tempo, através da regra da quadratura recursiva de Simpson. Para a integração temporal das equações de equilíbrio da bóia de superfície, utilizou-se o método de Runge-Kutta de quinta ordem com controle de passo adaptável. Na representação da linha flexível, cuja extremidade superior está acoplada ao centro de massa da bóia de superfície, adotou-se o modelo de elementos finitos desenvolvido por Lustosa (2000), onde elementos de viga de dois nós com propriedades estruturais de rigidez axial e flexional – com acoplamento flexo-axial – foram utilizados. A integração direta das equações de equilíbrio da linha flexível é efetuada através do método de Newmark e aplica-se o método iterativo de Newton-Raphson no cálculo da solução das equações de equilíbrio incrementais.

A validação dos modelos e a avaliação dos resultados numéricos obtidos foram efetuadas através de análises comparativas com outros resultados disponíveis na literatura. Assim, foram consideradas três análises numéricas.

Na primeira, os resultados da configuração estática de uma linha flexível em configuração *steep-wave* para diversos casos de solicitação se mostraram em muito boa concordância, à exceção para a situação de valor elevado do carregamento de correnteza. Para este caso, a dispersão dos resultados está associada às diferenças nos modelos empregados para a representação da forças de arraste em ambos os trabalhos considerados.

No segundo exemplo, considerou-se o modelo numérico bi-dimensional para a obtenção dos deslocamentos de uma plataforma *spar* sujeita à incidência de ondas e correnteza, onde as linhas de ancoragem foram modeladas como uma mola não-linear. As respostas para os movimentos de *surge* e *pitch*, obtidas para dois casos distintos, foram comparadas com dois diferentes estudos e o erro relativo foi obtido para diversos parâmetros de resposta: período de oscilação de baixa frequência t , período de oscilação de alta frequência T , amplitude de oscilação de alta frequência a e, apenas para o segundo caso, valor a_m de excursão da *spar* entorno da qual ela oscila após atingir regime permanente. Notou-se uma boa coerência entre os resultados, levando-se em consideração as diferenças entre os modelos adotados nos diversos estudos. No primeiro caso, onde considerou-se apenas a presença de ondas marinhas, o maior erro obtido foi de 39.2% entre os valores de a do movimento de *pitch* obtido no presente estudo e obtido por Chitrapu et al. (1998) considerando a modificação de Wheeler. Para o segundo caso, onde também se considerou a presença de correnteza marinha, o erro máximo foi de 12.5% entre os valores de a_m do movimento de *surge* obtido no presente estudo e obtido em Ma & Patel (2001).

Por último, efetuou-se a análise dinâmica de um sistema bóia-linha flexível. Os resultados obtidos para três casos distintos foram comparados e as diferenças observadas foram justificadas através do estudo das diferentes parcelas de forças e momentos atuantes sobre a bóia de superfície.

Dos resultados obtidos no presente trabalho algumas sugestões podem ser apresentadas para trabalhos complementares ou futuros que tornem o modelo

numérico mais eficiente e representativo do comportamento dinâmico do tipo de estrutura considerada:

- Extensão do presente estudo para análises tri-dimensionais. A forma mais geral das equações de movimento da bóia de superfície deve ser utilizada, onde três graus de liberdade de translação (*surge*, *heave* e *sway*) e dois de rotação (*pitch* e *roll*) são considerados.
- Implementação dos efeitos de difração e radiação de ondas, gerados pelo corpo. A literatura apresenta, dentro da abordagem de corpos esbeltos, formas alternativas para a representação da parcela não-viscosa das forças hidrodinâmicas e que objetivam representar estes fenômenos físicos.
- Consideração do efeito da ação das ondas marinhas sobre a linha flexível. Desta forma, os campos de velocidade e de pressão no fluido não só serão variáveis com a profundidade mas também com o tempo.