



ESTUDO COMPARATIVO DE FORMULAÇÕES ENTRE SIMULADORES *IN-HOUSE* E COMERCIAL DA DINÂMICA DE LINHAS DE ANCORAGEM E *RISERS*

Alan Barbosa Costa

Fábio Martins Gonçalves Ferreira

Eduardo Nobre Lages

alan.costa@ctec.ufal.br

fabio.ferreira@lccv.ufal.br

enl@lccv.ufal.br

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Laboratório de Computação Científica e Visualização – LCCV

Avenida Lourival Melo Mota, 57072-900, Alagoas, Maceió, Brasil

Resumo. *O uso de simuladores computacionais é uma prática corrente na análise de linhas em plataformas offshore, em virtude das mais variadas condições ambientais e de esforços sofridos por elas durante a exploração. O DOOLINES, um framework orientado a objetos utilizado para essas análises, vem incorporando novas considerações e formulações com o objetivo de buscar uma modelagem mais fiel a esses problemas, e que precisam passar por testes de verificação. A partir da discretização das linhas analisadas em elementos finitos, faz-se necessária a verificação das forças hidrostáticas e hidrodinâmicas, especialmente no caso de mangotes flutuantes, em que a linha se mantém parcialmente submersa. Além do mais, realiza-se a verificação da formulação envolvendo o amortecimento numérico, necessário para filtrar os modos de altas frequências espúrias de resposta advindas de simulações que utilizam um esquema de integração explícito. Dentro desse contexto, são criados modelos para comparações referentes à formulação do percentual submerso das linhas, e também das considerações relativas ao amortecimento numérico. Para comparação, utiliza-se o simulador comercial OrcaFlex® e, quando possível, a solução analítica. O resultado comparativo demonstrou semelhança em todos os casos analisados, indicando uma excelente concordância entre as considerações e formulações utilizadas pelo OrcaFlex® e DOOLINES.*

Palavras-Chaves: *Doolines, Orcaflex®, Amortecimento numérico, Método dos elementos finitos.*

1 INTRODUÇÃO

Dentre os principais aspectos analisados na exploração de petróleo, com o uso de plataformas *offshore*, está o comportamento mecânico ao longo do tempo das linhas de ancoragem (utilizadas para manter as plataformas em posição de equilíbrio), *risers* (utilizados no transporte dos hidrocarbonetos do poço de exploração até a plataforma) e mangotes (utilizados na descarga dos hidrocarbonetos da plataforma para um navio-aliviador). Esses sistemas formados por linhas sofrem inúmeras ações externas e internas durante o processo de exploração, sendo indispensável o uso de métodos e simuladores computacionais para a análise dinâmica dessas estruturas.

O Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV), do Centro de Tecnologia (CTEC), da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), vem desenvolvendo, ao longo dos anos, uma ferramenta computacional, o DOOLINES, de suporte a esse tipo de análise, que, conforme Silveira *et al.* (2012), é um framework orientado a objetos utilizado na análise não linear estática e dinâmica, no domínio do tempo, de linhas *offshore*. A arquitetura dessa ferramenta, com sua estruturação orientada a objetos, permite facilmente a incorporação de novas formulações que, por sua vez, precisam passar por testes de verificação e validação.

Dentro do contexto de testes de verificação, neste trabalho realizam-se comparações referentes à formulação do percentual submerso da linha, necessária no tratamento de trechos parcialmente submersos, e também das considerações relativas ao amortecimento numérico. Como referência para o teste de verificação, utiliza-se o programa comercial OrcaFlex© (ORCINA, 2014) e, em um dos casos, também a solução analítica.

2 METODOLOGIA

No caso da verificação das forças hidrostáticas e hidrodinâmicas, realizam-se simulações dinâmicas em linhas parcialmente submersas com o intuito de se analisar o histórico de deslocamento, e no caso da verificação do amortecimento numérico, realizam-se simulações para analisar o histórico de deslocamento e de esforço normal.

Dividem-se as linhas utilizadas nas simulações em elementos, e as forças determinadas são atribuídas para os nós de cada elemento. Para um elemento parcialmente submerso, as forças hidrostáticas e hidrodinâmicas são proporcionalmente dependentes do percentual submerso do elemento. Por essa razão, o DOOLINES e o OrcaFlex© usam a seguinte metodologia para a determinação do percentual submerso: considera-se uma diagonal unindo o ponto mais elevado fora da superfície do fluido com o ponto mais interior ao fluido, assumindo-se que o elemento é representativo de um objeto cilíndrico (Fig. 1). A partir do ponto de interseção da diagonal com a superfície livre obtém-se o percentual submerso do segmento, e as forças hidrostáticas e hidrodinâmicas são atribuídas ao nó apropriado.

Para a formulação direcionada aos trechos parcialmente submersos, cria-se um modelo de linha na horizontal com 5 m de comprimento, constituída de um mesmo material e discretizada por um único elemento finito. Este modelo se encontra na horizontal e 1 m acima da superfície livre da água. Para esse caso, analisa-se a posição da extremidade ‘B’ (extremidade direita da linha), que possui seu movimento restrito somente ao longo do eixo Z, ao longo do tempo.

Já para a verificação do amortecimento numérico axial, cria-se um modelo de linha na vertical, com 2 m de comprimento indeformado, porém se encontra pré-tensionada, possuindo

comprimento inicial de 2,5 m, e localizada 1 m abaixo da superfície livre da água. Neste caso, analisa-se o esforço normal no meio da linha ao longo do tempo.

Para a verificação do amortecimento à flexão, cria-se um modelo que apresenta os segmentos formando um ângulo relativo de 45° , como representado na Fig. 2. Os nós 'A' e 'B' encontram-se fixos, e apenas o nó 'C' possui seu movimento livre. Como no caso anterior, é analisado também o esforço normal no meio do segmento BC (mostrado na Fig. 2).

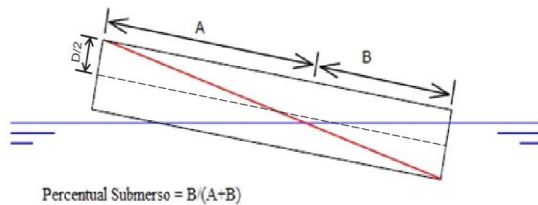


Figura 1. Percentual submerso de um segmento

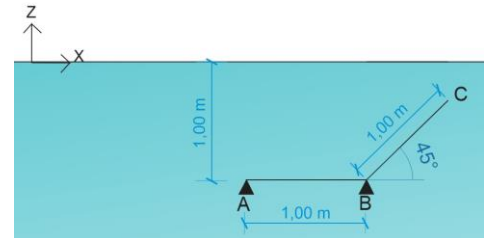


Figura 2. Ilustração da linha em 'L' a 45°

3 RESULTADOS

A seguir são apresentados e discutidos os resultados referentes à verificação do percentual submerso e do amortecimento numérico.

3.1 Percentual Submerso

Para a verificação do percentual submerso, são realizadas simulações dinâmicas utilizando-se o método de integração numérico explícito MEG- α (Hulbert & Chung, 1996), com um tempo de simulação de 20 s e um *time-step* de 0,00357 s. Como pode constatar na Fig. 3, a resposta obtida pelo DOOLINES apresenta boa concordância com a do OrcaFlex®, mostrando consistência na formulação adotada. Além do mais, observa-se a total concordância com a resposta analítica, evidenciando que a implementação está coerente com a formulação teórica utilizada.

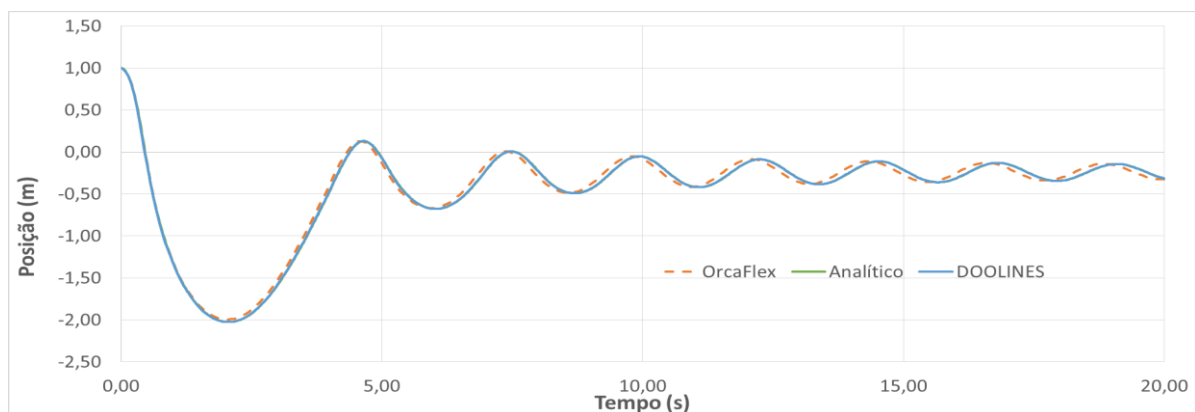


Figura 3. Histórico do movimento da extremidade da linha (percentual submerso).

3.2 Amortecimento Numérico

Segundo Rio *et al.* (2005), simulações que utilizam um esquema de integração explícito em malhas de elementos finitos podem conter altas frequências espúrias de resposta e devem

ser filtradas, frequências essas herdadas do próprio método dos elementos finitos. Esses períodos de oscilação são dependentes do comprimento, da massa e da rigidez da seção da linha envolvida. Para a filtragem dessas altas frequências, são utilizados coeficientes de amortecimento numérico que representam uma percentagem do amortecimento crítico de cada segmento, que é função da massa, do comprimento indeformado e da rigidez do segmento.

O parâmetro utilizado no amortecimento numérico axial representa um percentual do amortecimento crítico, que é dado por (e.g. ORCINA, 2014):

$$C^{crit.} = \sqrt{2 \cdot M \cdot L / EA} \quad (1)$$

onde M é a massa do segmento, L é o comprimento e EA é a rigidez axial.

A Fig. 4 apresenta a análise comparativa do esforço axial no meio da linha, com um tempo de simulação de 12 s e um *time-step* 0,00894 s. São mostrados apenas os 6 s iniciais da simulação, pois não há alteração da resposta no tempo restante. Em virtude de o esforço axial ter apresentado boa concordância nos resultados, os históricos de deslocamento entre DOOLINES e OrcaFlex© também foram semelhantes. Observa-se que, com a imposição do amortecimento axial, o esforço axial apresenta uma acentuada diminuição na frequência de vibração, o que leva a anulação desse esforço com o decorrer da simulação. Tal fato é previsto fisicamente, uma vez que, com o início da simulação, a linha deixa de ser tensionada e o esforço axial gradativamente deixa de se manifestar. E com a imposição de um amortecimento de 50%, a vibração é amortecida mais rapidamente, porém sem introduzir erros na resposta obtida.

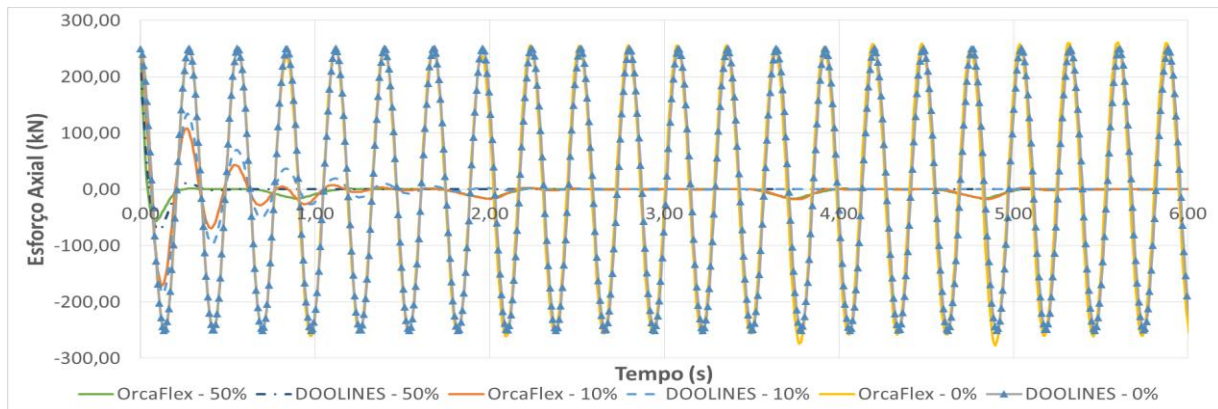


Figura 4. Esforço axial no meio da linha (amortecimento numérico).

O parâmetro utilizado no amortecimento numérico à flexão representa um percentual do amortecimento crítico, calculado da seguinte forma (e.g. ORCINA, 2014):

$$D^{crit.} = L \cdot \sqrt{M \cdot L \cdot EI} \quad (2)$$

onde M é a massa do segmento, L é o comprimento e EI é a rigidez à flexão.

A Fig. 5 apresenta a análise comparativa das simulações dinâmicas realizadas para o esforço normal no meio da linha, com um tempo de simulação de 20 s e um *time-step* de 3,162E-6 s. Assim como no caso anterior, são mostrados apenas os 6 s iniciais da simulação. Como o esforço axial possui grande semelhança entre os resultados, tem-se concordância também em relação ao histórico de deslocamento. Observa-se que, com a imposição do amortecimento à flexão, o esforço axial apresenta um aumento na frequência de vibração, porém com uma amplitude menor.

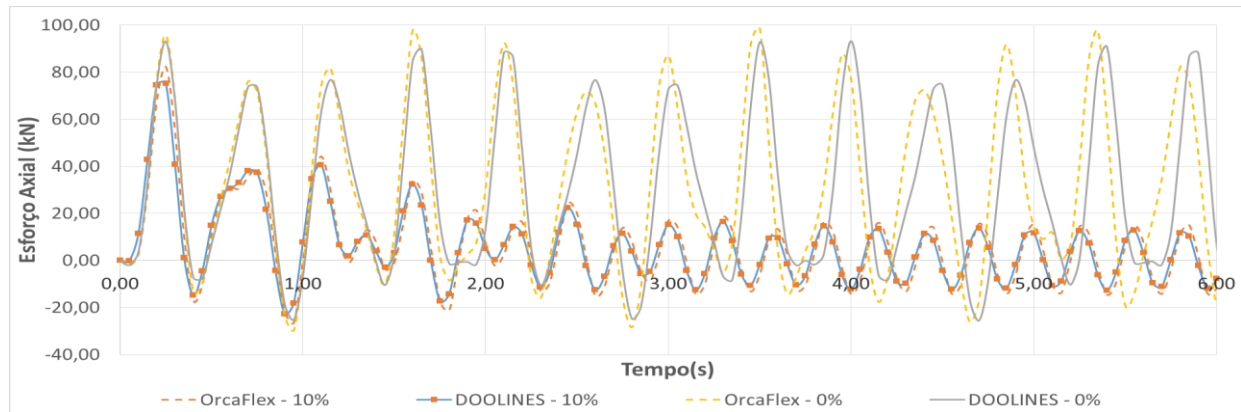


Figura 5 – Esforço axial no meio da linha (amortecimento à flexão).

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho, criaram-se modelos de linhas para se verificar a qualidade da formulação e implementação relativas ao percentual submerso de linhas e do tratamento do amortecimento numérico.

Para o modelo utilizado na análise referente ao percentual submerso, obteve-se a total concordância entre a resposta obtida com o DOOLINES e com o programa comercial OrcaFlex®, além da concordância também com a solução analítica.

Para os casos de amortecimento numérico, destaca-se que a utilização desses coeficientes de amortecimento é altamente recomendada para filtrar as altas frequências de resposta espúrias, não amortecendo as baixas frequências. Além do mais, observou-se que o esforço normal, e consequentemente o deslocamento, apresentaram concordância entre os resultados comparados.

De um modo geral, para os casos simulados, observou-se bastante semelhança na resposta gerada, indicando que as implementações realizadas no DOOLINES estão em concordância com o programa comercial OrcaFlex®.

AGRADECIMENTOS

O último autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa (PQ).

REFERÊNCIAS

Hulbert, G. M., & Chung, J., 1996. Explicit time integration algorithms for structural dynamics with optimal numerical dissipation. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 137, n. 2, pp. 175–188.

Orcina Ltd., 2014. OrcaFlex Manual Version 9.8a.

Rio, G., Soive, A., & Grolleau, V., 2005. Comparative study of numerical explicit time integration algorithms. *Advances in Engineering Software*, vol. 36, n. 4, pp. 252-265.

Silveira, E. S. S., Lages, E. N., & Ferreira, F. M. G., 2012. DOOLINES: an object-oriented framework for non-linear static and dynamic analyses of offshore lines. *Engineering with Computers*, vol. 28, n. 2, pp. 149–159.