

ESTUDO DE FALHAS EM RISERS FABRICADOS EM MATERIAL COMPÓSITO

Sérgio Ricardo Milki de Sousa¹ (UFRJ), Armando Carlos de Pina Filho² (UFRJ), Max Suell Dutra¹ (UFRJ)

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/PEM, Programa de Engenharia Mecânica,
Centro de Tecnologia, C.P. 68503, CEP. 21945-970, Rio de Janeiro/RJ, Brasil,
sergiomilki@uol.com.br, max@mecanica.coppe.ufrj.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Expressão Gráfica,
Centro de Tecnologia, Bloco D, Sala D-101, Ilha do Fundão, 21949-900, Rio de Janeiro/RJ, Brasil,
pina-filho@deg.ee.ufrj.br

Resumo: Os risers rígidos verticais são tubos compridos, que transportam petróleo da cabeça do poço submarino até a plataforma offshore. São estruturas sujeitas a ações dinâmicas aleatórias tais como: ondas e correntes marinhas e ventos atuando indiretamente no casco da plataforma flutuante TLP. O riser é considerado uma parte de extrema responsabilidade do sistema offshore, pois, sendo afetado por inúmeras variáveis, não pode ter sua estrutura comprometida, o que poderia acarretar parada de produção e danos ao meio ambiente. A competitividade crescente entre as empresas petrolíferas fez com que a extração de petróleo fosse levada cada vez mais em águas profundas. Nessa situação, os risers geralmente apresentam um comportamento dinâmico com deslocamento do topo e deflexões, devido ao comprimento e baixa resistência à flexão. Um mecanismo de compensação de tração axial minimiza as ações dinâmicas, e com a redução das diferenças entre as tensões máximas e mínimas, retarda os danos à fadiga. Os risers atuais, fabricados em aço, exigem mecanismos de tração e flutuação de alto custo, devido ao seu peso. Os projetos são regidos por considerações de fadiga. Risers fabricados em material compósito apresentam vantagens sobre os convencionais em aço, porque são mais leves, mais resistentes à fadiga e à corrosão, podem ser projetados para melhorar estruturalmente e mecanicamente o sistema, e são melhores isolantes térmicos. O trabalho aqui apresentado visa estudar eventuais falhas nesse tipo de riser, considerando a ação de esforços combinados, tais como: a pressão interna por ação do fluido, a pressão externa por ação da água do mar, e a tração e flexão do próprio corpo do riser. Para realizar as análises foi escolhido o método de elementos finitos (MEF), mais especificamente utilizando-se o software ANSYS 8.1. A partir dos resultados desta análise pretende-se mostrar que o riser fabricado em material compósito é capaz de suportar as solicitações médias de esforços combinados, atendendo as expectativas e se mostrando uma alternativa viável.

Palavras-chave: riser, compósito, MEF.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da concorrência entre as empresas petrolíferas e a escassez do petróleo fez com que a extração dele fosse realizada em águas cada vez mais profundas. O sistema de risers rígidos atual é pesado, exigindo sistemas caros de tração e flutuação, sendo seus projetos regidos por considerações de fadiga. Risers feitos por materiais compósitos apresentam vantagens sobre os convencionais em aço porque são mais leves, mais resistentes à fadiga, mais resistentes à corrosão, podem ser projetados para melhorar estruturalmente e mecanicamente o sistema, e são melhores isolantes térmicos. Além disso, reduções de custos das estruturas em plataformas de produção são possíveis pela redução do peso dos risers feitos em materiais compósitos, aliados a maior conformidade e melhoria da confiabilidade dos mesmos.

Todas essas vantagens motivaram a escolha do riser como objeto desse estudo, levando em consideração também a crescente demanda do setor petrolífero por novas tendências. Assim sendo, esse estudo enfatiza o projeto e testes desse produto no sentido de mostrar a economia que pode ser alcançada na utilização do material compósito. Além de ter um preço bem próximo dos aços, risers compósitos são relativamente mais leves, promovendo uma redução significativa do peso de toda a estrutura componente da plataforma. A possível fabricação de risers “in loco” promoveria substancial economia.

O trabalho aqui apresentado visa estudar eventuais falhas em risers compósitos, considerando a ação de esforços combinados, tais como: a pressão interna por ação do fluido, a pressão externa por ação da água do mar, e a tração e flexão do próprio corpo do riser. Para realizar as análises foi escolhido o método de elementos finitos (MEF), mais especificamente utilizando-se o software ANSYS 8.1. A partir dos resultados desta análise pretende-se mostrar que o riser fabricado em material compósito é capaz de suportar as solicitações médias de esforços combinados, atendendo as expectativas e se mostrando uma alternativa viável ao riser tradicional fabricado em aço.

2. MATERIAIS COMPÓSITOS

As tecnologias modernas exigem, cada vez mais, materiais com diversas combinações para obterem propriedades não atendidas por aços, cerâmicas e materiais poliméricos convencionais. A engenharia busca, de uma forma geral, materiais com baixas densidades, rígidos e que sejam resistentes ao impacto, à corrosão e à abrasão. Sem dúvida é uma combinação relativamente difícil, pois, os materiais mais resistentes são consequentemente mais densos, e com o aumento da rigidez diminui a resistência ao impacto (Ferroni e Maciel, 1985). Devido a essa necessidade de ação combinada de propriedades, foram desenvolvidos os materiais compósitos, que nada mais são do que materiais multifásicos, feitos através de processos artificiais, que exibem as propriedades das fases que são constituídos, obtendo melhor combinação de propriedades. As fases constituintes devem ser quimicamente diferentes e separadas por uma interface distinta. Assim sendo, materiais como algumas ligas metálicas e cerâmicas não se enquadram nesse contexto, pois suas múltiplas fases são formadas por consequência de fenômenos naturais.

Muitos materiais compósitos são formados por apenas duas fases distintas que são: a matriz que é contínua e envolve a outra que é chamada fase dispersa. Existe uma classificação dos compósitos em três partes: compósitos reforçados com partículas, reforçados com fibras e os compósitos estruturais. Dentre esses, os compósitos reforçados com fibras são os mais importantes, pois o objetivo de seus projetos é a obtenção de características de alta resistência e/ou alta rigidez em relação ao seu peso. Compósitos reforçados com fibras são fabricados com altos módulos específicos (razão entre o módulo de elasticidade e a densidade relativa) e altas resistências específicas (limite de resistência à tração/densidade relativa), através do uso de materiais de baixa densidade para fibra e matriz (Gibson, 1994). As propriedades mecânicas do compósito dependem das propriedades das fibras e da transmissão da carga pela matriz às fibras (Figura 1).

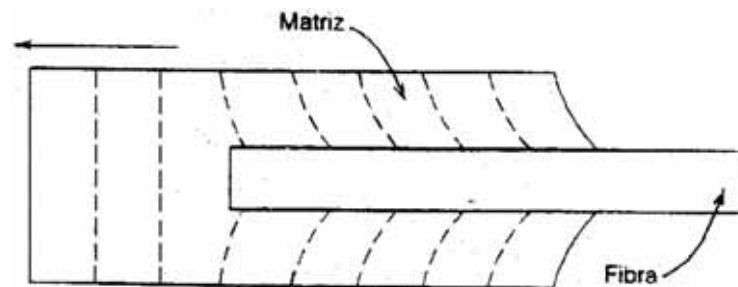


Figura 1. Fibra tracionada ocasionando deformação da matriz (Callister, 2000).

Na falha de um compósito, as fibras não fraturam ao mesmo tempo, devido a variação de resistência entre as fibras. Após as fraturas das fibras, elas continuam a resistir a cargas inferiores, a medida que ainda estão inseridas na matriz. Entretanto se ocorrerem aplicações de cargas de tração transversais, pode ocasionar falha prematura do compósito, pois a resistência à tração da fibra em geral é menor que a da matriz nessa condição, uma vez que as fibras orientadas perpendicularmente à direção de carregamento comportam-se como concentradores de tensão na matriz e na interface (Hull, 1981).

A matriz é responsável por fazer a ligação entre as fibras, e atua como meio de distribuição das tensões para as fibras, pois apenas parte da carga é suportada pela matriz. Uma outra função da matriz é de proteger as fibras contra agressões superficiais, pois podem provocar defeitos como trincas, levando a falhas (Gibson, 1994).

Em geral, os compósitos são formados por fibras de vidro ou carbono. O E-Glass é a forma de vidro mais usualmente estirado em fibras. Os diâmetros das fibras variam entre 3 a 20 μm (Folkes, 1982). Defeitos de superfícies devido ao atrito entre superfície e material duro, assim como exposição de partes de vidro à atmosfera, afetam as propriedades relativas à tração (Agarwal e Broutman, 1990). Os compósitos poliméricos reforçados com fibra de vidro são materiais que apresentam algumas limitações. Apesar de terem resistências elevadas, não exibem rigidez para algumas aplicações (partes estruturais de aviões e pontes, etc), limitadas a temperaturas abaixo de 200°C.

Em relação às fibras de carbono, são fibras de alto desempenho e representam o reforço mais utilizado em compósitos avançados. Os diâmetros das fibras variam de 4 a 10 μm . Dentre os materiais de fibras de reforços são os que possuem os maiores módulos e resistências específicas. Além disso, mesmo em temperaturas elevadas as suas propriedades mecânicas são mantidas.

Também é possível fabricar compósitos híbridos. Esses compósitos são formados por várias combinações de fibras de materiais diferentes para uma só matriz. As fibras podem ser combinadas de uma determinada forma que o produto final obterá propriedades específicas em função dos materiais empregados. Um compósito híbrido vidro-carbono é mais rígido, mais resistente ao impacto, e de menor custo do que aqueles fabricados somente em fibra de vidro ou carbono.

3. RISER COMPÓSITO

Como dito anteriormente, risers produzidos em material compósito têm um grande potencial de redução de custos, principalmente pela redução de peso que resultará em baixa tração no topo do riser, daí baixas cargas suportadas pela plataforma. Uma redução de cargas no convés possibilita redução estrutural no peso do mesmo, reduzindo tensões nos risers e nos sistemas de suporte, possibilitando uma menor unidade flutuante ou casco, reduzindo o sistema de amarras, simplificando a ancoragem ou fundação. Outros benefícios em potencial do riser em compósito incluem: a redução de manutenção e inspeção no revestimento, redução nos custos de instalação, redução da proteção catódica e aumento da limitação térmica.

Funcionalmente, risers compósitos devem ter a performance semelhante aos de aço. Geralmente, as funções são: controlar o fluido contido e pressões no poço; ser um membro estrutural do sistema; ser o envoltório contendo o conduto para transportar fluidos para o reservatório, e do reservatório; ser um dispositivo para guiar perfuradoras e ferramentas para dentro do poço (Fisher *et al.*, 1977). Nessas funções, risers compósitos não exigem nenhuma técnica especial de manuseio ou equipamentos comparados com os convencionais.

Para tornar seu custo mais competitivo, o corpo do riser compósito pode ser uma estrutura híbrida (Figura 2), composta de fibra de carbono e fibra de vidro numa matriz de epóxi. O duto pode ser fabricado através do processo de Enrolamento de Filamentos (Souza, 2007), no qual as fibras reforçadas são impregnadas por uma resina de epóxi e aplicadas num mandril girante com precisão nas orientações e espessuras.

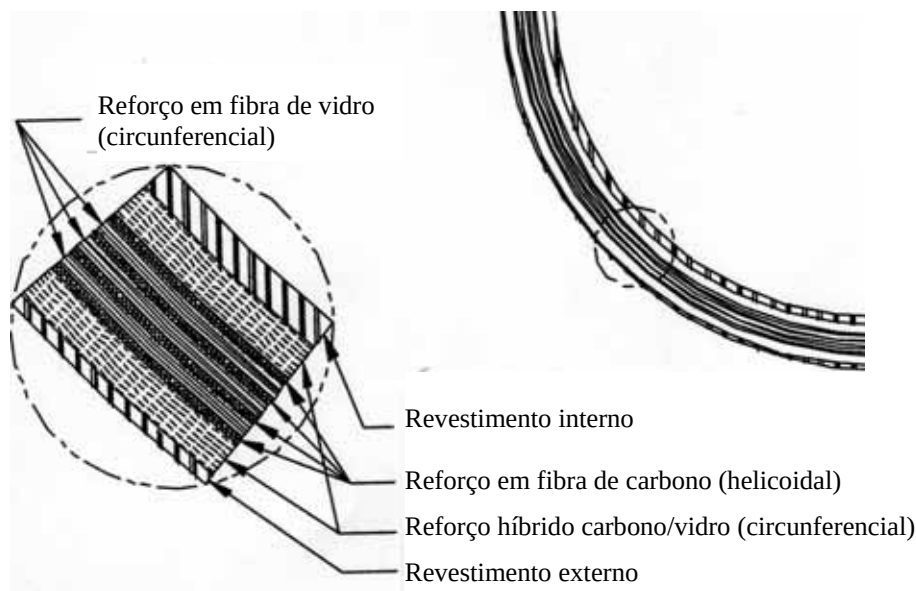


Figura 2. Composição da parede do riser (Baldwin *et al.*, 1997).

No projeto do riser de compósito a quantidade de fibra de carbono circunferencial é determinada pela pressão exercida na extremidade do topo do poço próximo a árvore de natal (Shut-in Well Head Pressure - SIWHP). Esse material é igualmente distribuído nas superfícies internas e externas da parede do duto para maximizar a capacidade de resistência pela pressão externa. Essas camadas são híbridas, com epóxi e fibra de vidro, aumentando a resistência à avaria e impacto. Um feixe de fibras circunferencial de epóxi e fibra de vidro, localizado na metade das paredes do duto serve para aumentar a estabilidade da seção transversal. As camadas de carbono de enrolamento longitudinal no riser fornecem rigidez e resistência a esforços axiais. Esse aumento de resistência axial resulta numa parede mais que adequada para resistência a cargas axiais geradas pela SIWHP.

4. HIPÓTESES PARA MODELAGEM

Risers rígidos, quando em águas profundas, geralmente apresentam um comportamento dinâmico com deslocamento do topo e deflexões devido ao comprimento e baixa resistência à flexão. Um mecanismo de compensação de tração axial minimiza as ações dinâmicas, e com a redução das diferenças entre as tensões máximas e mínimas retarda os danos à fadiga (Alves e Battista, 1999).

Nos Risers os esforços atuantes são descritos como: esforços estáticos e esforços dinâmicos (provocados pelas ondas e correntes marinhas). Esforços estáticos são causados pela pré-tração no topo do riser e pela deriva estática do casco da TLP pelo vento. Sob hipótese de constituir carregamento equivalente, as correntes marinhas originam esforços internos que superpõem os estáticos citados anteriormente. Os esforços dinâmicos são

causados por movimentos da plataforma, pela ação das ondas e correntes marinhas e também pelo efeito da vorticidade. Todos esses esforços estáticos e dinâmicos podem ser atenuados pelo mecanismo de pré-tração no topo do riser, na ligação com a plataforma (Carvalho, 1987). As ondas e correntes marítimas representam esforços complexos, de ação combinadas e com direções distintas. Para simplificação, são consideradas ambas atuando na mesma direção, e as correntes como forças estáticas, atuando ao longo do comprimento do riser.

Na análise de estruturas esbeltas (risers), a formulação pelo método de elementos finitos (MEF) é muito empregada. Para discretização espacial do riser são empregados elementos reticulados de pórtico espacial. Os elementos apresentam seis graus de liberdade por nó. Como esses elementos possuem três graus de liberdade angulares e três graus de liberdade lineares, é possível considerar resistência à flexão das linhas. Assim esses elementos representam fielmente às linhas onde a resistência à flexão é representativa, como ocorre nos risers.

Uma forma simplificada de modelagem das linhas é considerar um cilindro vertical equivalente tratado como um pilar rotulado nas extremidades. O comprimento do cilindro vai da quilha da plataforma até o fundo do mar sendo o diâmetro e coeficiente de arrasto o somatório das linhas originais.

Visando estabelecer uma comparação entre a metodologia aqui utilizada com uma outra já estabelecida por Gonzalez (1990), utilizou-se o método de elementos finitos, mais especificamente o programa ANSYS 8.1, considerando uma modelagem com axi-simetria, e não levando em consideração as não-linearidades. Pretende-se fazer uma comparação de resultados entre o riser compósito e o riser metálico (aço). Assim sendo, os risers a serem analisados tem diâmetros de 0,40 m e 0,384 m, respectivamente, para camisa externa e interna, sendo colocados a uma profundidade de 1000 m, com tração axial de 3747 KN e sujeitos a uma carga distribuída triangular (correntes marinhas), sendo a velocidade igual a 0,33 m/s. Também foi considerado o peso específico da água de 1000 kg/m^3 e coeficiente de arrasto 1,2. Vale ressaltar que na análise de Gonzalez (1990) não foi considerado riser em compósito e o método de análise utilizado foi o de Newton-Raphson.

5. ANÁLISE PELO MEF

O programa ANSYS 8.1 apresenta um gerador de malhas dirigido para produção e adaptação de malhas de alta qualidade para serem utilizadas nas simulações. Tal gerador permite refiná-las automaticamente quando a solução dos cálculos é obtida. Isso garante que uma malha adequada está sendo usada na execução do programa, mudando rapidamente essa solução de acordo com a malha requerida. O gerador determina o tamanho apropriado da malha numa região particular. Geralmente o tamanho do elemento é determinado pela mínima medida da escala dos tipos de controles da malha (ponto, linha ou triângulo), usados para refinar a superfície e volume da mesma, numa determinada região da malha em relação à escala global.

O processo de geração da malha é automático. Entretanto tem-se um considerável controle sobre como esses elementos da malha são distribuídos para a melhor solução possível a partir dos recursos computacionais disponíveis. A Figura 3 apresenta a estrutura definida para representação do riser com a malha refinada.

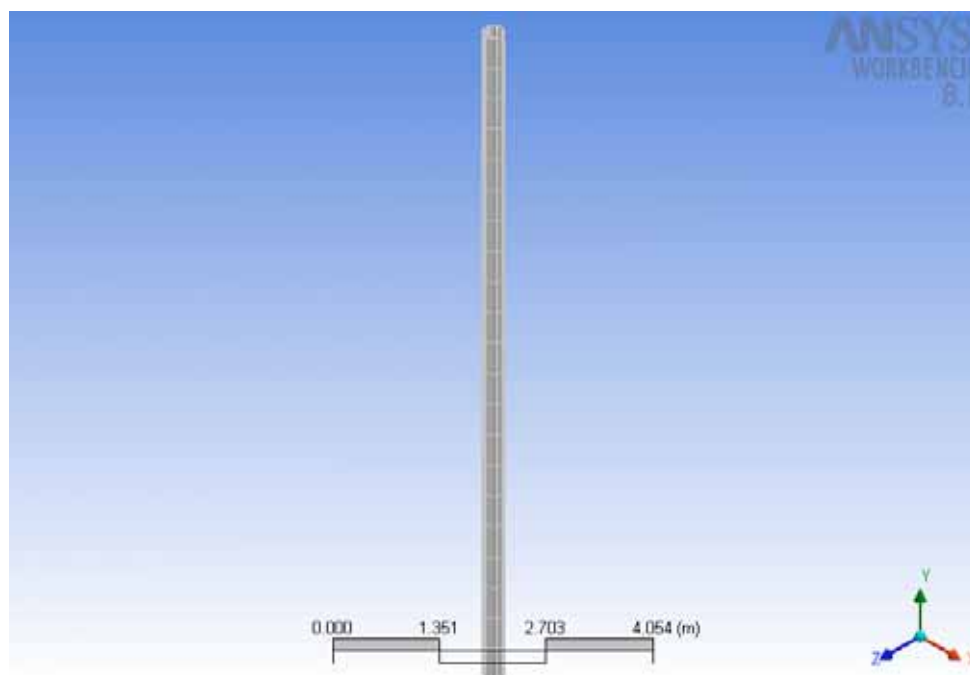


Figura 3. Estrutura do riser com a malha refinada.

A superfície da malha de elementos triangulares pode ser prevista antes da geração do volume da malha. O padrão de volume é o de malhas avançadas frontais (Figura 4). Isto permite a geração automática de malhas tetraédricas usando técnicas eficientes incluindo mecanismos chamados “*inflation*” para geração de elementos prismáticos e um pequeno número de elementos em forma piramidal.

As malhas foram refinadas para representar com precisão o comportamento estrutural real, evitando assim, resultados distorcidos de uma má discretização. Nos casos estudados tem-se 5891 nós com 1281 elementos.

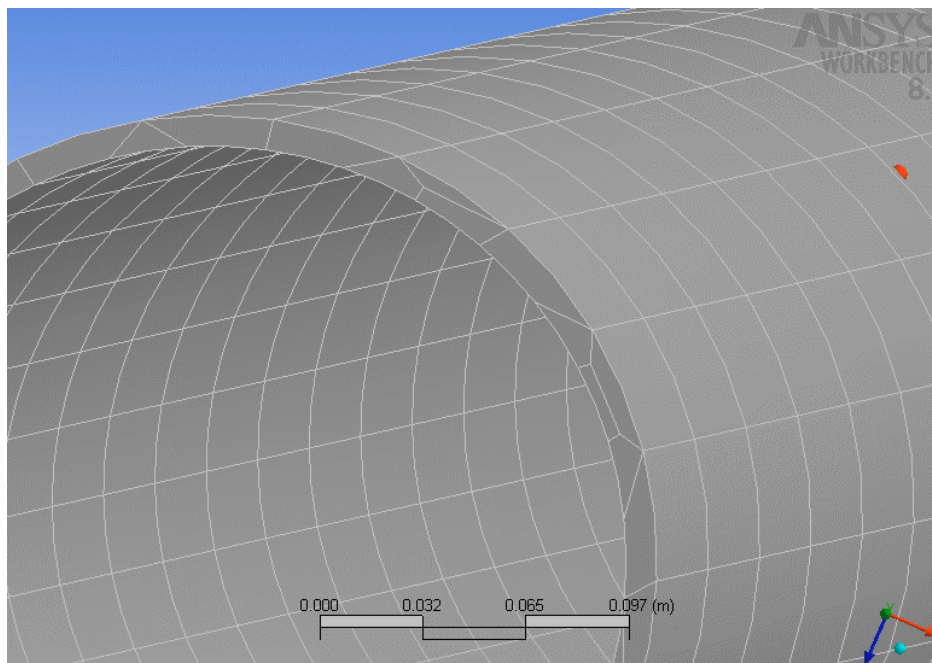


Figura 4. Estrutura, em detalhe, com a malha refinada.

Logo, considerando a estrutura definida para o riser, juntamente com as hipóteses descritas anteriormente, a Figura 5 apresenta a estrutura não deformada do riser, enquanto a Figura 6 exibe as tensões impostas ao riser, sendo “*remote force*” a força de corrente resultante a partir da distribuição triangular.

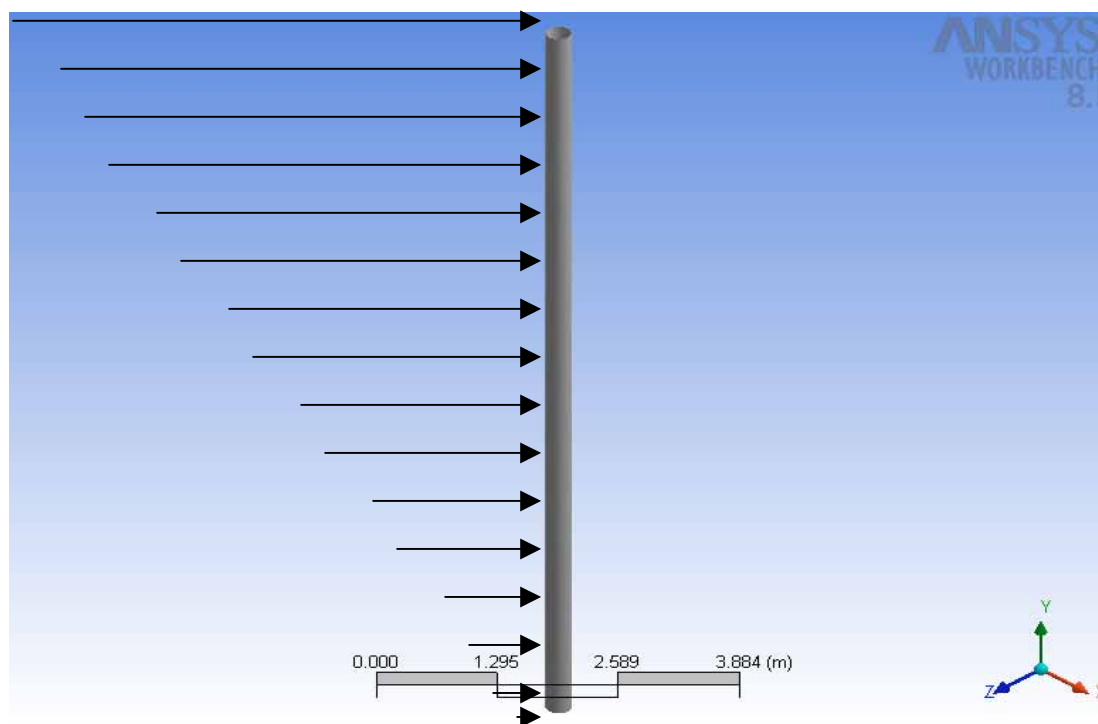


Figura 5. Estrutura não deformada com o perfil das correntes marinhas.

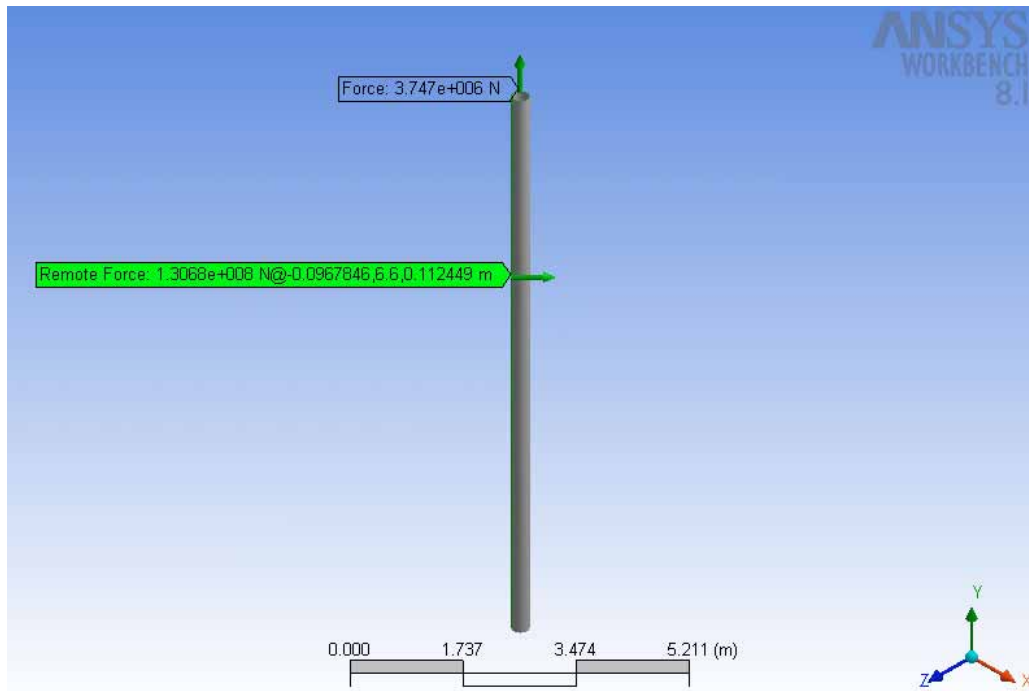


Figura 6. Estrutura com as tensões de serviço.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo critério da distorção máxima, utilizado pelo programa, observa-se na Figura 7 que as tensões resultantes das tensões combinadas que apresentam as maiores magnitudes, encontram-se próximas a cabeça do poço ($1,482 \times 10^5$ MPa) e também ao topo do riser ($1,903 \times 10^5$ MPa).

Como pode ser visto na Figura 8, o riser metálico apresenta uma deformação máxima de 18,612 m em função das tensões as quais está sendo submetido.

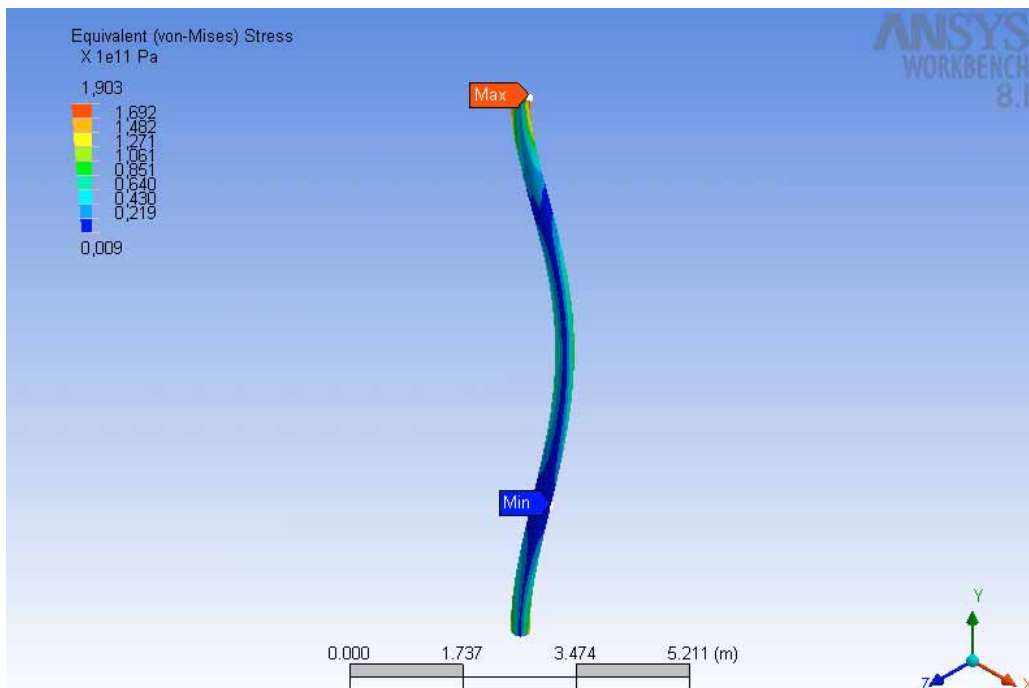


Figura 7. Estrutura do riser em aço com as tensões resultantes.

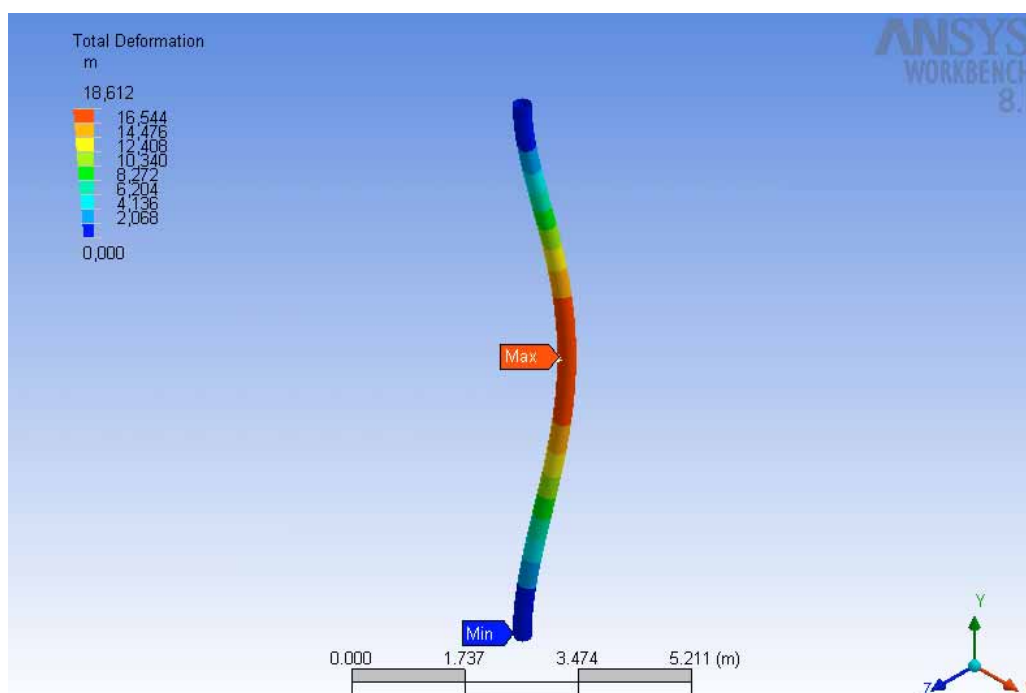


Figura 8. Estrutura deformada do riser em material metálico.

Assim como foi observado no riser metálico, no riser compósito as regiões próximas a cabeça do poço ($1,478 \times 10^5$ MPa) e também ao topo do riser ($1,898 \times 10^5$ MPa) são as mais solicitadas devido a ação de tensões combinadas (Figura 9).

A Figura 10 apresenta a deformação máxima do riser compósito (31,792 m) em função das tensões as quais está sendo submetido.

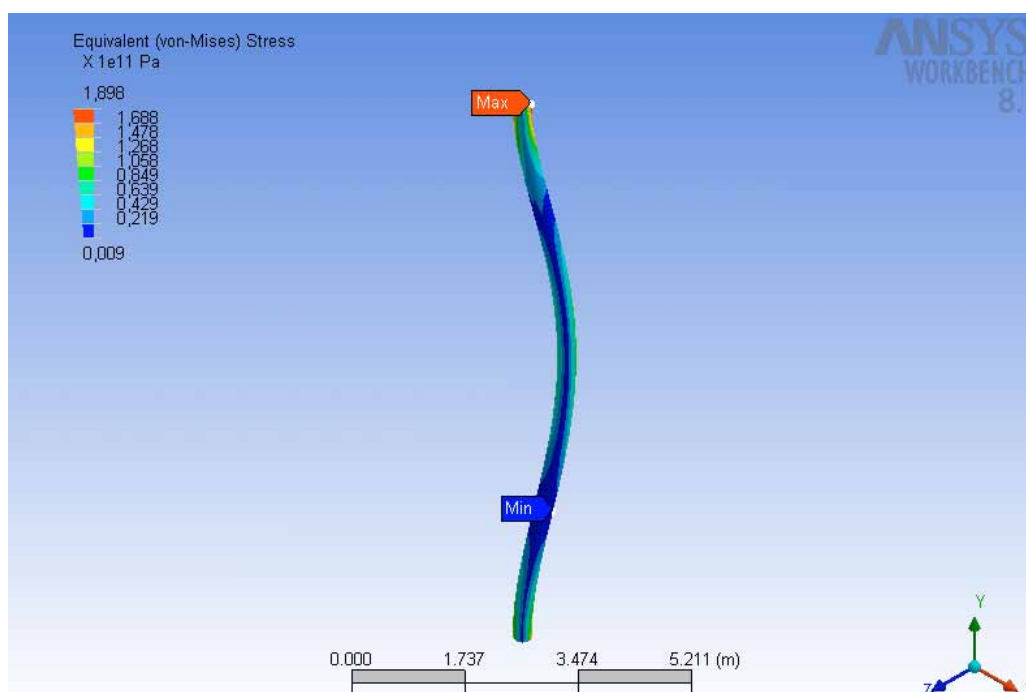


Figura 9. Estrutura em compósito com as tensões resultantes.

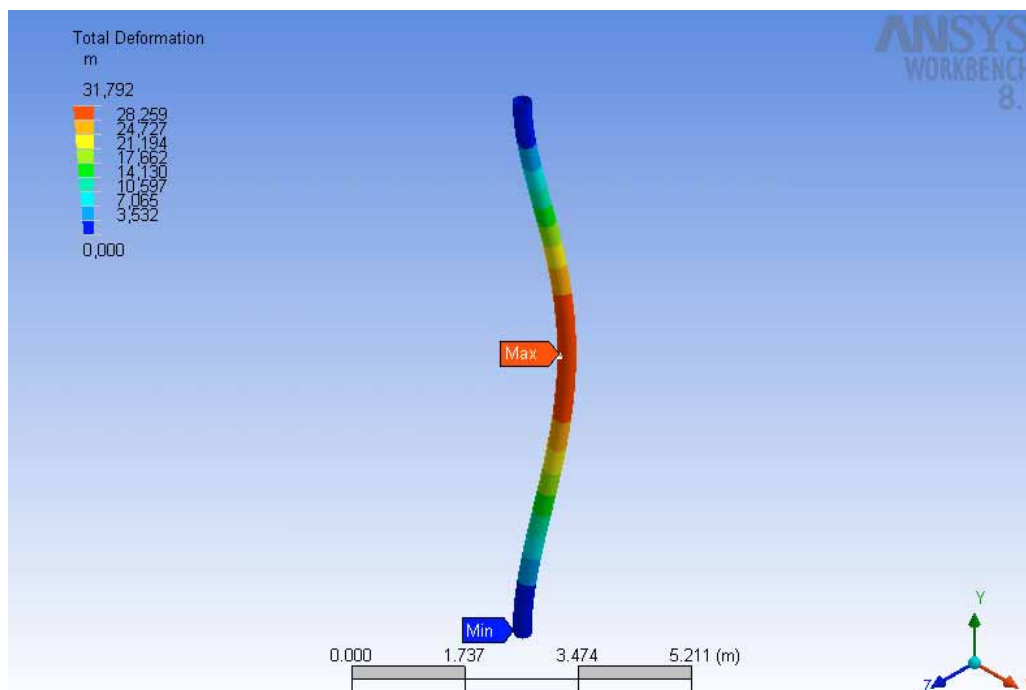


Figura 10. Estrutura deformada do riser em material compósito.

A partir dos resultados obtidos pela análise e mostrados nas Figuras 8 e 10, observa-se que o riser compósito apresenta uma maior deformação (31,792 m) que o riser metálico (18,612 m), o que já era de se esperar, pois seu módulo de elasticidade longitudinal é menor que do aço. Sendo assim o riser em compósito apresenta um maior deslocamento comparado ao metálico, considerando a estrutura bi-rotulada nas extremidades, analisadas isoladamente da TLP. Pode-se verificar também que as tensões resultantes são próximas (Figuras 7 e 9).

Conclui-se que pela análise por elementos finitos, o riser em material compósito atende as expectativas dos testes em protótipos, assim como as solicitações médias de esforços combinados, mostrando-se uma alternativa viável ao riser em material metálico.

Em termos de comparação com os resultados encontrados por Gonzalez (1990), a Figura 11 apresenta as deformadas do riser metálico. Como a simulação com riser compósito não foi feita por Gonzalez (1990), realizou-se uma projeção de como seria o valor dessa deformada.

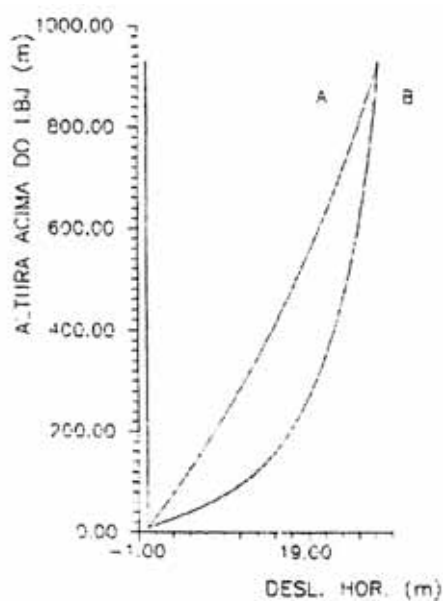


Figura 11. Comportamento do riser em material metálico (Gonzalez, 1990).

Mediante os valores encontrados pelo MEF para as deformações máximas do riser em aço e compósito (18,612 m e 31,792 m, respectivamente), e considerando que a relação entre esses valores está mantendo a proporcionalidade dos seus módulos de elasticidade, pode-se aplicar o mesmo raciocínio para a análise de Gonzalez (1990), o que resulta num valor de 32,5 m para o riser compósito.

Como pode ser observado pela comparação entre os valores obtidos dos máximos deslocamentos (deformadas) do riser em aço (18,612 m versus 19,0 m), assim como os deslocamentos do riser compósito (31,792 m versus 32,5 m), os dois métodos apresentaram valores próximos, o que demonstra a validade dos dois processos nas análises.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou características e possíveis falhas em risers fabricados em material compósito. Foi apresentado um estudo prévio sobre os principais tipos de materiais compósitos, bem como do produto (riser) a ser fabricado, observando-se detalhes quanto a sua estrutura. Um dos principais objetivos desse estudo foi mostrar as facilidades do processo de fabricação, como também dar uma idéia da diminuição dos custos de produção do produto, assim como da plataforma como um todo.

Pela aplicação do método de elementos finitos, usando-se o programa ANSYS, concluiu-se que o riser em material compósito é capaz de suportar as solicitações médias de esforços combinados, atendendo as expectativas e se mostrando uma alternativa viável ao atual sistema, o qual se utiliza de risers em aço.

8. REFERÊNCIAS

- AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. **Analysis and Performance of Fiber Composites**. 2a ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.
- ALVES, R. M.; BATTISTA, R. C. Active Control of Heave Motion for TLP Type Offshore Platform Under Random Waves. **GTH Annual Structure & Material**, Bellingham, v. 3671, p. 184-194, 1999.
- BALDWIN, D. D.; NEWHOUSE, N.; LO, K. H. Composite Production Riser development. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS FOR OFFSHORE OPERATIONS, 1997, Houston. **Proceedings of the Second International Conference on CMOO**, USA, 1997.
- CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais, Uma Introdução**, 5a ed. LTC, Brasil, 2000.
- CARVALHO, E. M. L. **Um modelo Teórico Simplificado para Análise do Comportamento Dinâmico de um Riser Rígido**, Seminário D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 1987.
- FERRONI, M. R.; MACIEL, M. A. D. Variabilidade das Propriedades Mecânicas dos Materiais Compostos. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 1985, São José dos Campos. **Proceedings of the VIII COBEM**, São Paulo, p. 891, 1985.
- FISHER, F. J.; LO, K. H.; WANG, S. S. Material Requirements for Risers. In: TWENTY-NINTH ANNUAL OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, 1977, Houston. **Proceedings of The Twenty-Ninth Annual OTC**, Paper OTC 8431, USA, p. 8-11, 1977.
- FOLKES, M. J. **Short Fiber Reinforced Thermoplastics**. 1a ed., New York: John Wiley & Sons, 1982.
- GIBSON, R. F. **Principles of Composite Material Mechanics**. McGraw Hill, 1994.
- GONZALEZ, E. C. **Análise estrutural de risers para águas profundas**. Mar. 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Orientador: Ferrante, A. J. Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 1990.
- HULL, D. **An Introduction to Composite Materials**. Cambridge, 1981.
- SOUZA, S. R. M. de. **Estudo de uma Máquina de Enrolamento de Filamentos**. Mar. 2007. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Orientadores: Dutra, M. S., Pina Filho, A. C. de. Programa de Engenharia Mecânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, Brasil, 2007.

STUDY OF IMPERFECTIONS IN RISERS MANUFACTURED IN COMPOSITE MATERIAL

Abstract: Vertical rigid risers are long pipes, that carry oil from the head of the submarine well to the offshore platform. They are structures subject to random dynamic actions, such as: sea waves and flows, and winds indirectly acting in the hull of floating platform TLP. Riser is considered a part of extreme responsibility of the offshore system, therefore, being affected by innumerable variable, it cannot have its structure compromised, what it could cause stop of production and damages to the environment. The increasing competitiveness between the petroliferous companies made with that the extraction of oil was taken more and more in deep waters. In this situation, risers generally presents a dynamic behavior with displacement of the top and deflections, due to the length and low resistance to the flexion. A mechanism of compensation of axial traction minimizes the dynamic

actions, and with the reduction of the differences between the maximum and minimum tensions, it delays the damages to the fatigue. Current risers, manufactured in steel, demands mechanisms of traction and fluctuation of high cost, due to its weight. The projects are conducted by considerations of fatigue. Risers manufactured in composite material presents advantages on the conventional in steel, because they are lighter, more resistant to the fatigue and to the corrosion, they can be projected to improve the system, structurally and mechanically, and they are better thermal insulators. The work presented here intends to study eventual imperfections in this type of riser, considering the action of combined efforts, such as: the internal pressure by action of the fluid, the external pressure by action of the sea water, and the traction and flexion of the proper body of riser. To carry through the analyses the finite element methods was chosen (FEM), more specifically using ANSYS 8.1 software. From the results of this analysis, we intend to show that the riser manufactured in composite material is capable to support the average requests of combined efforts, complying with the expectations and showing itself a viable alternative.

Keywords: riser, composite, FEM.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.