

DESENVOLVIMENTO DE UM TRIBÔMETRO PARA ENSAIOS EM ESCALA REAL DE REVESTIMENTOS DE LINHAS FLEXÍVEIS (RISERS)

Henry Fong Hwang

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

ltm-hfhwang@mecanica.ufu.br

Fernando Martins Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

fmferreira@mecanica.ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ.

mtp@petrobras.com.br

Elias Bittencourt Teodoro

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

teodoro@mecanica.ufu.br

Vera Lúcia D. S. Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

ltm-sdfranco@ufu.br

Resumo: Linhas flexíveis são utilizadas em larga escala pela Petrobras na exploração de petróleo em águas profundas e ultra-profundas. Recentemente foi notado pela companhia um importante desgaste da camada polimérica externa na região do contato com o enrijecedor (bend stiffener). Foram realizados testes em escala reduzida no Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade de Uberlândia com o objetivo de classificar os materiais de acordo com sua resistência ao desgaste. Através destes ensaios foram selecionados os pares com os melhores polímeros para a fabricação das partes, sem contudo apresentar uma previsão de vida útil para a aplicação. Como as taxas de desgaste não podem ser extrapoladas para estes casos, pois podem gerar erros significativos, foi proposta a construção de um tribômetro capaz de realizar ensaios das partes em escala real para aproximar a simulação das condições encontradas em campo. Neste trabalho são apresentadas as etapas relativas ao desenvolvimento do novo tribômetro, bem como as características técnicas do mesmo.

Palavras-chave: linhas flexíveis, enrijecedores, desgaste por deslizamento, ensaios em escala real.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da exploração de petróleo em alto-mar é obter dutos que levem o óleo do fundo do mar até a plataforma capazes de suportar o movimento das correntes e a pressão elevada das águas profundas (www.petrobras.com.br).

Estes dutos (*risers*) são revestidos por uma camada polimérica que sofre desgaste por deslizamento quando em contato com enrijecedores (*bend stiffeners*) instalados na plataforma, que também contém partes poliméricas. Esse desgaste pode levar a uma completa inutilização dos risers causando interrupção da produção de um poço.

Com o objetivo de selecionar polímeros para os enrijecedores, foram realizados ensaios em escala reduzida no Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia, cujos resultados permitiram a classificação de diferentes materiais, de acordo com a resistência ao desgaste (Franco, 2006).

Porém, além da classificação, é necessária a obtenção da vida útil das partes - o que requer uma reprodução da configuração tribológica mais próxima do sistema real.

Para simular tal sistema, propõe-se a concepção, projeto e construção de um tribômetro com capacidade de aplicação de cargas normais de até 100 tf.

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Os dutos flexíveis ou *risers* fazem a conexão entre a plataforma e o poço de petróleo. A flexibilidade é necessária para compensar os movimentos das ondas e correntezas marítimas.



Figura 1: Linhas Flexíveis na Plataforma

A estrutura do duto flexível, inicialmente proposta pelo Instituto Francês de Petróleo (IFP) em 1960, foi introduzida pela primeira vez no mercado em 1972 e até 1991 foram instalados cerca de 2.300 km destes dutos em todo o mundo. A Petrobras é a maior usuária mundial, com cerca de 2.100 km de dutos de aplicação *offshore*, instalados nos campos produtores nacionais (Porciúncula, 1999). A estrutura de um duto flexível é basicamente composta de camadas de aço enroladas helicoidalmente e de camadas homogêneas de termoplásticos com diferentes geometrias e materiais.

A camada interna de termoplástico assegura que o fluido transportado (óleo bruto, gás e água) não vaze, ao passo que a externa oferece proteção contra corrosão, abrasão e proteção mecânica. As camadas helicoidais de aço provêm a resistência mecânica (Souza, 2000).



Figura 2: Estrutura de Um Duto Flexível (Chen, 1995)

Para evitar a ruptura destes dutos são utilizados enrijecedores (*bend stiffeners*) instalados aproximadamente à 30 m abaixo da conexão com a plataforma, que suavizam os raios de dobramento, gerados pelos movimentos causados por ondas e correntes marítimas.

A movimentação dessas linhas em relação à estrutura das plataformas resulta em apreciável desgaste da camada externa polimérica.

Como consequência dessa movimentação, a capa polimérica, que usualmente é confeccionada em PE (polietileno) ou nylon 11 (PA), pode ser completamente destruída, como mostrado na figura 3, inutilizando a linha.

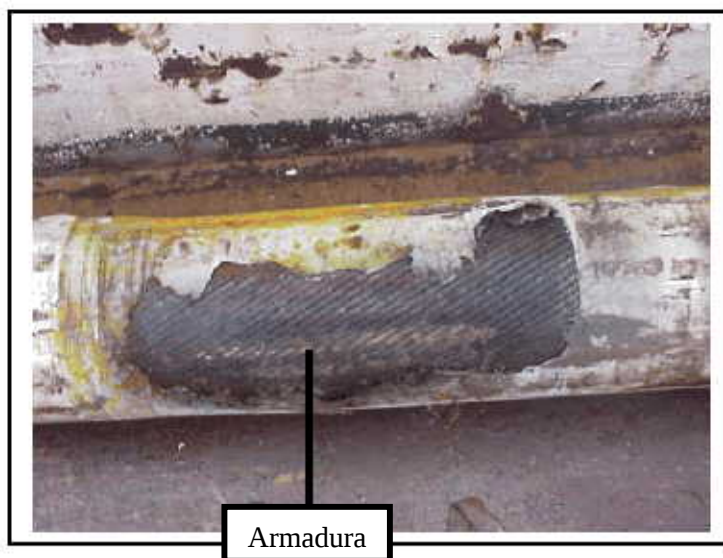


Figura 3 – Desgaste da capa externa da linha flexível de PA, expondo a armadura na região do enrijecedor.

3. ENSAIOS EM ESCALA REAL VERSUS REDUZIDA

Foram realizados ensaios de desgaste em escala reduzida na configuração plano-sobre-cilindro com o objetivo de classificar os materiais de acordo com a resistência (Franco, 2006). Este trabalho permitiu a seleção dos melhores materiais a serem utilizados na fabricação de linhas flexíveis e enrijecedores.

Contudo, a simples classificação não forneceu dados de vida útil dos materiais em sua aplicação. Além disso, as condições de teste não reproduziram exatamente as de campo. Foram utilizadas velocidades superiores, o sentido do deslizamento foi transversal à calha do duto e não longitudinal (como acontece em campo) e foram observados efeitos de borda (Franco, 2006).

Considerando que o desgaste na região do *bend stiffener* pode levar à interrupção da produção de um poço, é de fundamental importância que o desempenho de pares poliméricos seja estudado para se chegar a uma previsão confiável de vida útil.

A seleção apropriada de um sistema de ensaios tribológicos e sua escala podem ter grande influência no mecanismo de desgaste (Samyn II, 2005). Para a obtenção de dados relevantes para projetos de partes poliméricas sob altas cargas e baixas velocidades, as condições simuladas em laboratório devem ser as mais próximas possíveis das condições reais de aplicação (Samyn I, 2005). Dificilmente podem ser feitas extrapolações e, quando feitas, podem resultar em erros importantes (Samyn III, 2005), visto que, principalmente para polímeros, os mecanismos podem ser influenciados pela capacidade de formação de filme, fluência e área de contato (Samyn I, 2005).

Efeitos de borda e concentração de tensões que se manifestam sob altas cargas são reduzidos devido à pequena fração de borda em relação ao volume total da amostra (Samyn I, 2005). Estes autores verificaram também que o comportamento térmico do sistema em escala real é alterado, onde a condutividade térmica foi reduzida em 30%.

Outro parâmetro dependente da escala é a mobilidade dos fragmentos de desgaste, que pode ser influenciada pelo tamanho da amostra, resultando em desempenhos que não correspondem aos observados em situações de campo (Vermeulen, 1989).

Além disto, no caso de materiais com elevada elasticidade, a área de contato e a distribuição da carga passam a ser influenciadas pelo tamanho da amostra, apresentando um maior efeito de bordas (Franco, 2006).

4. TRIBÔMETRO EM ESCALA REAL

Considerando a importância de ensaiar os polímeros em questão na escala real, foi concebido um sistema constituído por cilindros hidráulicos para a simulação dos esforços e movimentos medidos em campo. O projeto está em andamento e a previsão de término é para maio/2007.

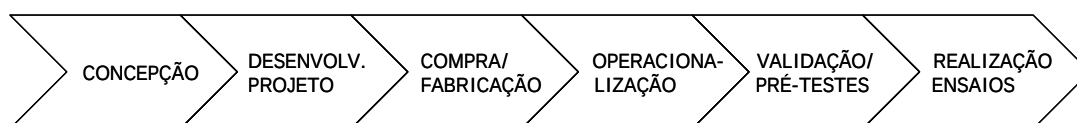


Figura 4 – Etapas do projeto Tribômetro Escala Real - LTM-UFU.

4.1. Concepção

As plataformas apresentam um movimento vertical gerado pelas ondas do mar, num ciclo aproximado de 10 segundos. No momento da ascensão, a linha flexível é tracionada e deforma no sentido longitudinal.

Para alcançar os poços - que não estão localizados na linha vertical da plataforma - os risers sofrem dobramento a partir do enrijecedor. Além disto, as correntezas fazem com que oscilem lateralmente. Este movimento aumenta a pressão de contato no lado solicitado do *bend stiffener*, onde o valor das forças normais pode alcançar dezenas de toneladas.

A Fig. 5 mostra esquematicamente a instalação do *riser* e os respectivos movimentos que causam a interação com o enrijecedor.

O sistema tribológico em questão pode ser entendido como de baixas velocidades (4 mm/s) e cargas altas num contato deslizante entre pares poliméricos no eixo vertical, submersos em água do mar.

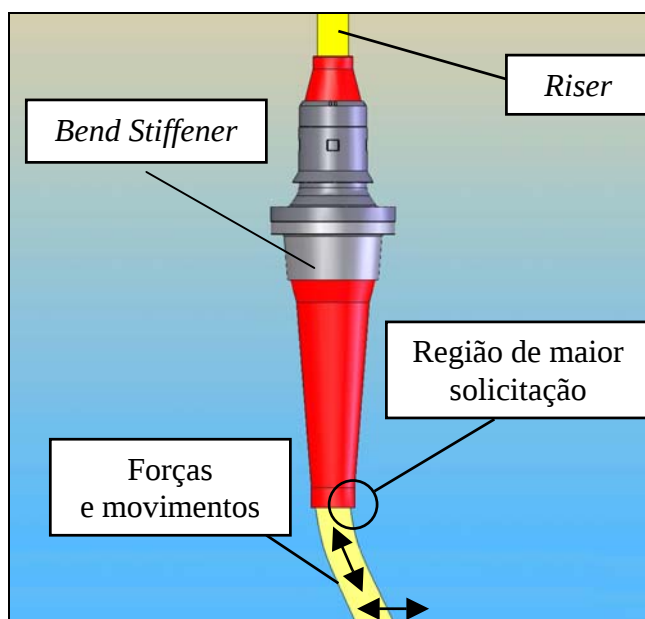


Figura 5 – Esforços e Movimentos do Sistema Tribológico *Riser x Bend Stiffener*.

4.2. Sistema de forças e movimentos

Para simulação deste sistema tribológico, foram selecionados dois pares de cilindros hidráulicos – um para movimento alternado e outro para aplicação das forças normais.

Como o sentido do movimento da linha flexível é na vertical, um par de cilindros hidráulicos posicionados no eixo vertical faz o movimento alternado do corpo de prova, com um curso máximo de 200 mm. O outro par, no eixo horizontal, aplica as pressões de contato. Neste caso, são ensaiados dois contra-corpos sobre um mesmo corpo de prova, que é um segmento de *riser*. O eixo vertical foi escolhido para simular o movimento real das partículas de desgaste, que poderiam apresentar comportamentos e trajetórias diferentes com um sistema horizontal.

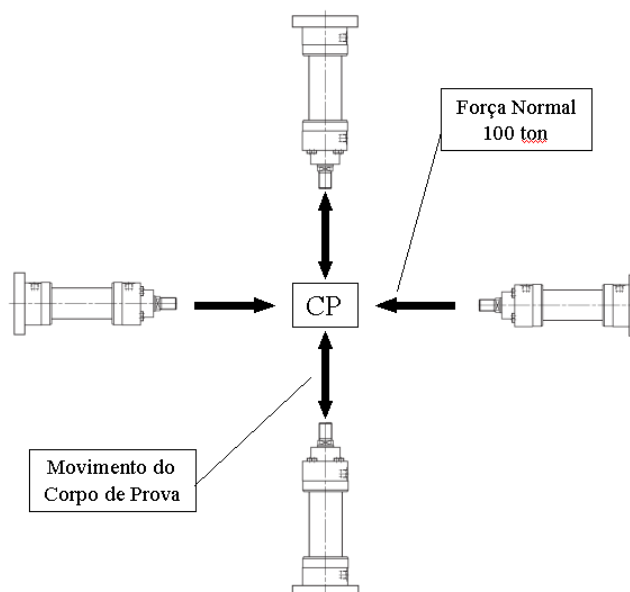


Figura 6 – Concepção de Aplicação de Esforços e Movimentos do Tribômetro.

Os cilindros horizontais serão conectados no mesmo circuito hidráulico, para garantir que a força normal seja a mesma em ambos os lados. Na extremidade de suas hastes serão fixados os contra-corpos, que serão pressionados contra o *riser* durante os ensaios.

As forças de atrito e normais serão medidas por células de carga, e o desgaste por sensores de deslocamento (LVDT). Termopares serão instalados na base dos contra-corpos para fornecer uma referência de temperaturas de trabalho.

Todo material de ensaio estará submerso em água, o que influencia no comportamento térmico e no movimento das partículas de desgaste.

O equipamento possibilitará a escolha da quantidade de ciclos, valor das forças e curso do corpo de prova. Para segurança, ele será equipado com acelerômetros que farão o monitoramento das amplitudes de vibrações e, caso ultrapassem o valor estipulado, o sistema será desligado automaticamente.

Toda a estrutura ficará sobre um sistema de molas para evitar que vibrações externas causem distorções nos resultados.

4.3. Materiais Testados

Os corpos de prova serão segmentos de *risers* de 450 mm de comprimento e diâmetros de 100 a 500 mm, revestidos com PE (polietileno) ou nylon 11 (PA). Os contra-corpos terão uma das faces com formato de calota cilíndrica e área com cerca de 20.000 mm². Estes deverão ser fabricados especialmente para os ensaios, e poderão ser polímeros como: poliuretano (PU), polipropileno (PP) e teflon[®].

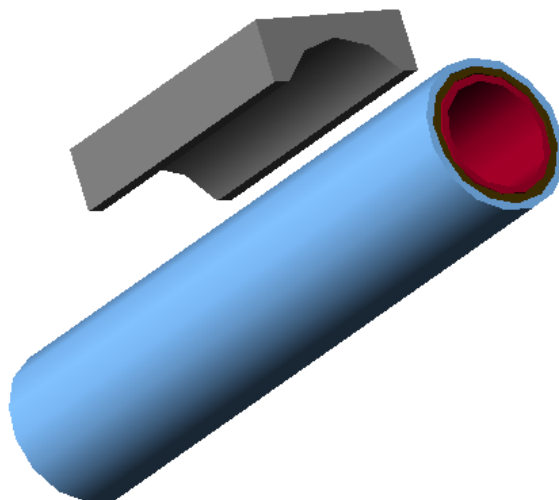


Figura 7 – Amostra de *Riser* e Contra-Corpo (acima)

5. CONCLUSÕES

A avaliação em escala reduzida do desempenho de pares poliméricos solicitados com altas cargas e baixas velocidades pode não apresentar resultados confiáveis (Samyn I, 2005).

Os testes em escala reduzida realizados no Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade de Uberlândia classificaram os materiais de acordo com sua resistência ao desgaste e definiram os melhores polímeros para a fabricação das partes, porém não apresentaram uma previsão de vida útil para a aplicação (Franco, 2006).

Com o tribômetro proposto anteriormente, a expectativa é alcançar uma previsão confiável para a vida útil das linhas flexíveis e enrijecedores, através da simulação do sistema tribológico

encontrado em campo, que inclui esforços, movimentos e condições do ambiente idênticos aos observados em campo.

6. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para uma perspectiva a médio prazo, espera-se ensaiar pares metálicos ou polímeros contra metais e utilizar também faces planas de contato.

A possibilidade de se medir o desgaste dos materiais ensaiados através de um sistema de câmeras CCD está sendo estudado.

7. REFERÊNCIAS

- Chen, B. *et al.*, 1995, "Analytical and finite element modelling of unbounded flexible pipes", European Conference on Flexible Pipes, Umbilicals and Marine Cables – Structural Mechanics and Testing, 2., London.
- Franco, S. D. 2006, "Otimização de materiais para enrijecedores de linhas flexíveis", relatório interno do Laboratório de Tribologia e Materiais da Universidade Federal de Uberlândia.
- Porciúncula, S. L. *et al.*, 1999, "Marlim field: risers, flowlines and umbilicals developed", Offshore Technology Conference, v. 2, pp. 87 - 103.
- Samyn, P., De Baets, P., 2005, "Friction and wear of acetal: A matter of scale", Wear vol. 259, pp 697-702. (I)
- Samyn, P., De Baets, P., 2005, "Ad-Hoc design of sliding elements against wear", Congresso Ibérico de Tribologia, Guimarães, Portugal. (II)
- Samyn, P., De Baets, P., Shoukens, G, Van Peteghem, A. P., 2005, "Large-scale tests on friction and wear of engineering polymers for material selection in highly loaded sliding systems", Materials and Design. (III)
- Souza, A. P. F. *et al.*, 2000, "Colapso de dutos flexíveis sob pressão externa", Bol. téc. Petrobras, Rio de Janeiro.
- Vermeulen, M., 1989, "Wear research on large-scale test specimen", Wear, 132, pp. 287 – 302.

DEVELOPMENT OF A LARGE-SCALE TRIBOTESTER TO SIMULATE WEAR OF RISERS POLYMER COATINGS, APPLIED IN OIL EXPLOITATION

Henry Fong Hwang

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.
ltm-hfhwang@mecanica.ufu.br

Fernando Martins Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

fmferreira@mecanica.ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo M. de Mello, Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ.

mtp@petrobras.com.br

Elias Bittencourt Teodoro

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

teodoro@mecanica.ufu.br

Vera Lúcia D. S. Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

vlfranco@ufu.br

Sinésio Domingues Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Laboratório de Tribologia e Materiais, Campus Santa Mônica, Uberlândia – MG.

ltm-sdfranco@ufu.br

Abstract: *Risers are broadly used by Petrobras on deep and ultra-deep water oil exploitation. An important wear of polymer coating of the risers when in contact with bend stiffeners was recently found. Small-scale tests were performed at the Material and Tribology Laboratory on Federal University of Uberlandia to rank the materials according to the wear resistance. The results showed the better ones to be applied, but not a reliable prediction of the wear lifetime. As wear rates extrapolations towards the real working conditions can hardly be made and often result in important errors, the authors proposed the development of a large-scale tribotester to simulate real working conditions as close as possible on laboratory. This work presents the tribotester development steps and its technical data .*

Palavras-chave: *risers, bend stiffeners, sliding wear, large-scale tests.*