

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Desenvolvimento de Equipamento para Ensaio de Corrosão Fadiga por Controle de Deslocamento.

Márcio Ribeiro Antunes¹, Charles Kuhn², Raphael Aragones Leite³, Maurício Ferrapontoff Lemos⁴, Telmo R. Strohaecker⁵.

Abstract

The development of displacement controlled equipment for corrosion fatigue test allows the simultaneously performing of several specimens test. The equipment figure is assembled around a stainless steel vessel coated with polymer in which the specimens are placed for testing. The specimens are fixed on a support system developed for four point bending test. The individual load control is performed by strain gages attached on each specimen. Regarding the load application, a adjustable cam system were developed. The system then converts the rotatory motion transmitted by a motor-reducer in a reciprocating motion of a rod. With this it is possible to reproduce the load range variation necessary for corrosion fatigue tests. The equipment was designed to allow the aggressive environment control: temperature, pH, solution's dissolved oxygen content and also internal gas pressure.

Resumo

O desenvolvimento do equipamento para ensaio de corrosão fadiga por controle de deslocamento permite ensaiar simultaneamente vários corpos-de-prova (CP). O equipamento é composto por uma cuba construída em aço inoxidável com revestimento polimérico na qual os dispositivos de ensaio são montados dentro da mesma. Os corpos-de-prova são fixados em um sistema de apoio desenvolvido para aplicar flexão pura a quatro pontos. O controle individual da tensão aplicada é realizado através de *strain gauges* colados em cada um dos CP. Para a aplicação de carga é utilizado um sistema mecânico com eixos excêntricos, no qual a excentricidade pode ser ajustada. Este sistema permite transformar o movimento rotativo transmitido por um motor-redutor em um movimento alternativo de uma haste. Com isso consegue-se produzir a variação na amplitude de carregamento necessário aos ensaios de corrosão fadiga. O equipamento foi projetado para permitir o controle de variáveis do meio agressivo: temperatura, pH e teor de oxigênio dissolvido na solução; e também a pressão interna de gás.

Palavras-chave: Corrosão Fadiga, Controle por Deslocamento, Strain Gauges, Meio Agressivo.

¹ Mestre, Engenheiro I. Mecânico - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

² Engenheiro Mecânico - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

³ Mestre, Engenheiro de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

⁴ Mestre, Engenheiro de Materiais - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

⁵ Doutor, Professor - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Introdução

Os *risers* flexíveis são extensivamente usados como componentes para a extração de óleo e gás no ambiente *offshore*. Estas linhas flexíveis são uma alternativa as linhas rígidas apresentando vantagens como menores tempos de instalação, redução de peso e flexibilidade na configuração da montagem do projeto para extração de óleo e gás. Os tubos flexíveis são compostos por camadas de diferentes materiais e a configuração destas tem como objetivo o ganho em resistência e flexibilidade.

Os tubos flexíveis quando usados como *risers* sofrem diversos tipos de carregamento tanto estáticos quanto dinâmicos. Com a dificuldade cada vez maior de se produzir petróleo em águas profundas e ultra profundas, aliada a condições de alta temperatura, pressão e ambiente agressivo, há a necessidade da melhora de desempenho de componentes que compõe o tubo. Um dos componentes de grande importância para estes tubos são as armaduras de tração fabricadas em aço de alta resistência que estão sujeitas a condições agressivas como a permeação de moléculas de H₂O, H₂S e CO₂ através da camada polimérica chegando em contato com a armadura. Desta maneira é de suma importância avaliar a resistência a corrosão fadiga destes arames que são responsáveis pela resistência estática e dinâmica destes tubos flexíveis.

O trabalho proposto visa enfatizar a construção de equipamentos para a avaliação da vida em corrosão-fadiga, através de curvas S-N, de arames de tração que compõe o tubo flexível. Os equipamentos operam em flexão a quatro pontos por deslocamento prescrito baseando o sistema em um dispositivo excêntrico para aplicação de carregamento. O monitoramento da tensão nos arames é feito através de *strain gages*. No equipamento construído pode-se ensaiar até quatro arames simultaneamente.

Revisão Bibliográfica: Tubos flexíveis

Mesmo com a crescente geração de tecnologia e pesquisa, bem como de novas instalações envolvendo energias renováveis, a demanda por petróleo cresceu nos últimos anos. Segundo o relatório de mercado do petróleo, publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA), este aumento se deu em média 1,74% anualmente de 1994 até 2006. Duas estimativas de crescimento da demanda até 2015 e 2030 são de 1,7% e 1,4% anuais, respectivamente (1).

Para acompanhar as necessidades futuras, a produção de petróleo deverá aumentar na mesma proporção. Porém, muitos poços de onde são extraídas as quantidades atuais tendem a apresentar um declínio anual de 3 a 8% (2). Esta lacuna entre oferta e demanda deverá ser suprida pela produção de poços recém descobertos, como os do pré-sal no Brasil, e também pelos que ainda serão encontrados. Dentro desse contexto há uma importância significativa da exploração de petróleo e gás em águas profundas.

À medida que se avança na exploração de óleo e gás em águas mais profundas, com maiores pressões e ambientes mais agressivos, o desafio tecnológico e os problemas a serem resolvidos aumentam (2,3). Como solução para alguns destes problemas surgiram os *risers* flexíveis, que são dutos para transporte de gás, água, óleo em estruturas *offshore*. São fabricados em diversas camadas complementares e sobrepostos que, se organizadas de certa forma, oferecem ótimas propriedades, como resistência à corrosão, à tração e à pressão interna (3).

Conforme a norma API 17B, tubos flexíveis para aplicações *offshore* e *onshore* podem ser divididos em duas categorias conforme sua utilização: estática ou dinâmica.

Tanto aplicações estáticas quanto dinâmicas, mesmo possuindo aplicações fisicamente distintas, requerem alta vida útil dos componentes, resistência mecânica satisfatória, alta

resistência a danos internos e externos, mínima necessidade de manutenção e, no caso de aplicações dinâmicas, alta resistência a serviços em fadiga (4).

Estes tubos são constituídos de seções concêntricas de polímero e aço não unidas entre si. Estas exercem cada uma sua função específica, porém quando em conjunto permitem a complementação em serviço. Uma típica configuração de uma seção transversal é mostrada na Figura 1. Os materiais com os quais são fabricadas as diferentes camadas podem variar conforme o fabricante e as características específicas de aplicação.

As principais camadas dos tubos flexíveis, bem como sua função e materiais de possível construção, são descritas abaixo (3,5,6):

a) Carcaça intertravada: Camada interna da parede. Sua configuração intertravada, fabricada com anéis de aço inoxidável, proporciona resistência ao colapso da estrutura. Também oferece proteção mecânica à abrasão de sólidos e à corrosão.

b) Camada interna: Camada extrudada de polímero cuja função principal é proporcionar uma barreira entre o fluido e o restante da estrutura. Possíveis materiais de construção para este componente: polietileno (PE), Poliamida 11 (PA 11 ou *Nylon 11*®) ou poli(flúoreto de vinila) (PVDF ou *Teflon*®).

c) Armadura de pressão: Geralmente instalada de forma helicoidal suporta esforços no sentido radial provenientes tanto da parte interna quanto externa do tubo, caracterizando assim a sua definição.

d) Armadura de tração: Camada constituída de arames, geralmente planos, cuja função é prover resistência ao esforço axial ao qual o riser é submetido. O material de fabricação é o aço carbono e sua disposição helicoidal cruzada pode ser de duas ou quatro camadas (permitindo balanceamento no tocante a torção da estrutura), com ângulo de helicóide entre 20 e 60 graus, dependendo da aplicação específica para a qual o tubo é fabricado.

e) Capa externa: Camada extrudada de polímero cuja função é servir como barreira ao ambiente agressivo externo (frequentemente água do mar), bem como proporcionar proteção mecânica aos componentes internos da estrutura do riser.

Além destas camadas citadas acima ainda podem ser incluídos filmes plásticos ou fibras para proporcionar resistência à abrasão entre camadas ou até para proporcionar isolamento térmico (5,6).

Revisão Bibliográfica: Fadiga em tubos flexíveis

Uma aplicação típica de tubos flexíveis é em *risers* que conectam estruturas flutuantes com máquinas e instalações submarinas em alto mar (7). A unidade de produção flutuante é submetida a movimentos do vento, maré e de ondas que leva à ocorrência de esforços de flexão em fadiga nos tubos conectados a mesma (8,9). Como são os arames que sustentam os esforços de tração, esses estarão submetidos à tensão alternada e conseqüentemente ao risco de danos por fadiga, podendo comprometer todas as camadas do tubo flexível. Dentro desse contexto, a obtenção de curvas de fadiga S-N são importantes, e necessários, para previsão da vida em serviço de *risers* flexíveis (5,6,9,10,11).

O espaço entre a camada interna e a capa externa (ambas poliméricas) é denominado espaço anular. O ambiente nesse espaço é determinado pela presença de pequenas quantidades de água condensada ou até por água no mar, no caso de defeitos na capa externa. Se gases como o dióxido de carbono (CO₂), gás sulfídrico (H₂S) e metano (CH₄) estiverem presentes no fluido transportado, esse permearão através das camadas poliméricas (5,6). Esses gases, em conjunto com ambiente aquoso, aumentam o potencial de degradação do riser (12).

Além desta primeira preocupação, o transporte, instalação e operação destes *risers* flexíveis são fases críticas. O impacto com outros objetos e a interação com componentes da

plataforma em alto mar (cabos, estrutura, etc.) podem resultar na falha e rompimento da capa externa polimérica (13). A falha permite a passagem de soluções corrosivas para o interior do tubo, alargando o anular e acelerando o processo de degradação através da combinação de fenômenos de fadiga e corrosão (6,13,14). Entretanto o foco nesse tipo de defeito e suas consequências no tubo não estão no escopo do objetivo desse trabalho.

Diferentemente de outras estruturas, não existem curvas S-N normatizadas especificamente para armaduras de *risers* flexíveis. A substituição dos tubos ao falharem é uma alternativa muito dispendiosa, tanto no sentido financeiro quanto operacional. Assim, diversos trabalhos tem sido publicados na literatura com o objetivo de avaliar a vida em fadiga e corrosão fadiga dos arames utilizados na armadura de tração (5-14). Inclusive estudos foram realizados acerca do desenvolvimento de máquinas e de métodos para obtenção de curvas S-N, mediante uma parceria de 8 anos entre a indústria e institutos de pesquisa na Noruega (5). No Brasil não é diferente. Com as recentes descobertas na área do pré-sal a previsão da vida em fadiga de estruturas como os *risers* flexíveis passa a ser fundamental para o projeto de exploração dos poços.

Dentro desse contexto este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma máquina para avaliação da vida em fadiga de arames de *risers* flexíveis. Adicionalmente, em um segundo momento, apresentar as vantagens da utilização dos métodos escolhidos tendo como base os métodos apresentados na literatura.

Requerimentos iniciais de projeto de máquinas de corrosão fadiga

O projeto e a construção da máquina levou em consideração os seguintes requerimentos:

- Aplicação de carga a quatro pontos (flexão pura);
- Teste simultâneo de mais de um corpo de prova;
- Carregamento em forma senoidal;
- Controle satisfatório da amplitude e razão de carregamento;
- Frequência de ensaio de 2Hz;
- Capacidade de realizar ensaios em um ambiente livre de oxigênio com controle das pressões parciais de H₂S e CO₂;
- Controle de temperatura e medição de pH e O₂ dissolvido.

Sistema de aplicação de carga cíclica

Para a aplicação da carga foi construído um sistema mecânico com eixos excêntricos, no qual a excentricidade poderá ser ajustada para valores entre 0 e 10 mm, conforme demonstra a Figura 2. Tal sistema é uma alternativa ao uso de sistemas hidráulicos de alta complexidade e elevado custo. O sistema excêntrico tem a capacidade de transformar o movimento rotativo, transmitido por um moto-reductor, em um movimento alternativo. Com isso, consegue-se produzir a variação na amplitude de carregamento necessária aos ensaios de fadiga.

Dadas as características do sistema, diz-se que o controle do ensaio é, nesse caso, por deslocamento prescrito. Para se obter a frequência de ensaio de 2 Hz, por exemplo, o sistema excêntrico é acoplado a um motor-reductor com saída na rotação de 120 RPM. Mediante ajuste da excentricidade, o sistema tem capacidade para aplicar carregamentos cíclicos com amplitudes de deslocamento de até 10 mm.

O sistema de aplicação de carga cíclica por deslocamento prescrito possui ainda uma vantagem de ordem prática que permite a otimização dos ensaios (5,10). Ou seja, como o

deslocamento é mantido ao longo de todo ensaio, há a possibilidade da realização de testes em mais de um corpo de prova simultaneamente.

Sistema de fixação dos corpos-de-prova

Os arames para teste são posicionados em um sistema de apoio, especialmente desenvolvido para aplicar flexão pura em 4 CPs simultaneamente (Figura 3). A utilização da flexão alternada, ao invés de ensaios utilizando, por exemplo, tração pura, representa melhor a situação de trabalho dos arames (10). Outra vantagem deste método é que os corpos para teste podem ser montados e retirados com rapidez e facilidade.

A distância entre os apoios inferiores fabricados na máquina é de 150 mm, enquanto que os superiores estão separados por uma distância de 50 mm. Foi projetado um rolete, mostrado na Figura 4, com rebaixos usinados na forma de encaixes, com o objetivo de manter o posicionamento dos CPs durante os ensaios e também de suportar a curvatura helicoidal característica do arame retirado de tubos flexíveis (3). Com este dispositivo, será possível realizar os ensaios de corrosão fadiga submetendo tanto o lado interno quanto o externo do arame ao esforço de tração longitudinal. Este dispositivo (rolete) foi fabricado em Nylon™. A montagem geral do sistema na fase de projeto, incluindo o sistema de fixação e o sistema excêntrico já citados, são mostrados na Figura 5. O recipiente para acondicionamento do meio agressivo será descrito em seguida.

Sistema de controle e condicionamento de meio agressivo

Os arames a serem testados, posicionados nos devidos apoios, são posicionados dentro de cubas (recipientes) de aço inoxidável revestidos com material polimérico a fim de proporcionar a resistência à corrosão requerida em função dos diferentes meios agressivos a serem empregados. Dentro das cubas, os corpos-de-prova ficam submersos na solução de ensaio pretendida. Uma cuba adjacente é utilizada para desaeração da solução previamente a saturação com o gás agressivo de interesse. Todo o sistema está apresentado na Figura 6.

Para o suprimento dos gases no meio de ensaio foi acoplado um sistema de alimentação de gases juntamente com um complexo sistema de válvulas necessárias às operações de desaeração, transferência e saturação da solução de ensaio. Toda tubulação é rígida e fabricada em aço inoxidável para uso com gases como CO₂ e H₂S. A vantagem do uso dessa tubulação, ao invés de mangueiras flexíveis, é que não há difusão de oxigênio, o que reconhecidamente acontece via materiais poliméricos (6,11). Logo, como o controle de oxigênio dissolvido deve ser realizado, e o mesmo deve ser o mínimo possível (na ordem de 10ppb) (5,12), a construção foi realizada nessa configuração. No espaço anular de *risers* flexíveis há uma relação de área superficial de aço exposta vs. volume de solução, conforme cada caso em serviço (5,6,12). Para alcançar uma relação proposta, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido no meio agressivo, o sistema desenvolvido envolve a utilização de pregos adicionados no recipiente, como pode ser observado na Figura 7.

Para o controle de temperatura foi empregado um controlador digital e um sistema de aquecimento por resistores elétricos bem como um sensor de temperatura inserido na cuba. Apesar do ambiente encontrado no espaço anular não possuir normalmente pressão positiva (5,6,12), o controle da pressão é realizado por um indicador digital de pressão acoplado a um sistema de monitoramento. Ou seja, ensaios com a câmara pressurizada também é possível.

A máquina juntamente com o sistema de monitoramento foi montada em uma cabine, devidamente acoplada ao sistema de alimentação e exaustão de gases, bem como aos

condicionadores do sinal para leitura dos demais sensores. Na Figura 6 está mostrada cada parte do sistema de fadiga desenvolvido.

Além dos sistemas já citados foram acoplados a cuba medidores de oxigênio dissolvido e pH para monitoramento constante durante os procedimentos de desaeração e saturação e durante o ensaio propriamente dito (Figura 7).

Sistema de controle do carregamento

O ensaio por controle de deslocamento tem vantagens pela simplicidade e possibilita o ensaio de mais de um corpo de prova simultaneamente, assim como encontrado na literatura (5,6). Entretanto, mesmo obtendo a carga via célula externa, ainda é necessário um controle individual de carga para cada corpo-de-prova. Dessa forma para a calibração do sistema de carregamento, os CPs foram instrumentados com extensômetros uniaxiais a fim de se determinar exatamente o carregamento em cada corpo de prova e se as tensões variam nos corpos-de-prova ao longo do ensaio. O sinal da célula de carga foi utilizado para complementar e auxiliar no controle da carga aplicada, bem como avaliar quando há ruptura de algum dos arames (uma vez que o sinal de carga diminui na medida em que os arames rompem) (5).

A aquisição de dados dos extensômetros e da célula de carga foi feita via sistema com microcomputador e *Spyder 8*, com interface através do software *Catman 4.0 Professional version*. Na Figura 8 observa-se a variação da tensão (MPa) aplicada nos corpos-de-prova, obtidas através da deformação medida *strain gauges* e também o sinal de carregamento obtido na célula de carga.

Para a realização da calibração foi aplicada uma carregamento acarretando tensões nos arames entre aproximadamente 60 a 600 MPa. Na Tabela 1 são apresentados os valores de tensão e R (razão de carregamento) obtidos com o ajuste do deslocamento aplicado no ensaio de fadiga. Os resultados demonstraram que é possível obter uma amplitude de tensão e razão de carregamentos dentro de uma faixa satisfatória. Deve ser ressaltado a obtenção de carregamento na forma de uma senóide bem definida.

Para verificar o nível de ajuste da máquina necessário para maiores amplitudes de tensão, foi então aumentada a amplitude de deslocamento para aumentar a carga nos corpos-de-prova e também foi verificada a adequação para aproximar a razão de carregamento a 0,1.

A Figura 9 demonstra a senóide obtida, também bem definida. Na Tabela 2 é demonstrado como é possível variar o R (razão de carregamento) e mostra a oscilação de tensões durante o ensaio para uma carga flutuante de 100 a 1000 MPa. A razão de carregamento variou na faixa entre 0,08 e 0,13. Dadas as condições de ensaio e as variações de geometria que são encontrados nos arames retirados dos tubos flexíveis, essa diferença pode ser considerada satisfatória para avaliação do material nas condições de serviço.

Conclusões

- O desenvolvimento de máquinas para ensaios de corrosão fadiga deve levar em conta diversos requisitos, uma vez que o número de variáveis envolvidas nesse ensaio é elevado quando comparado com ensaios comuns ao ar.
- Mesmo sendo essenciais para avaliação da vida remanescente de arames de *risers* flexíveis, os ensaios de corrosão fadiga não são normatizados. Ou seja, o controle do ensaio deve ser desenvolvido, calibrado e comprovado para cada condição específica de serviço. Com isso, o sistema apresentado apresenta ser vantajoso, pois possibilita o

uso de várias configurações de ensaio (tanto variáveis químicas quanto mecânicas do teste).

- O sistema de aplicação de carga via controle de deslocamento apresenta vantagens principalmente de ordem prática, pois possibilita o ensaio de mais de um arame por vez.
- O sistema de fixação de corpo de prova permite a adequação a qualquer configuração de helicóide de arame, uma vez que o rolete (que acomoda o corpo de prova) é fabricado separadamente e possui resistência satisfatória nas condições de ensaio.
- O sistema de controle do meio agressivo permite o uso de diversas configurações de mistura gasosa em soluções aquosas ou não. Ainda há controle do oxigênio dissolvido devido a tubulação rígida utilizada e também devido ao sistema de monitoramento.
- O sistema de excêntrico da máquina para os ensaios de corrosão-fadiga para arames flexíveis se mostrou bastante confiável. Os dispositivos de regulação (amplitude e razão de carregamento) tem se mostrado estáveis à medida que seus valores não sofrem alteração no decorrer do ensaio. Ainda foi obtida uma boa reprodutibilidade dos ensaios até então e as cargas aplicadas apresentam boa distribuição no sistema.



Figura 1 - Típica seção transversal de um tubo flexível (5,6).

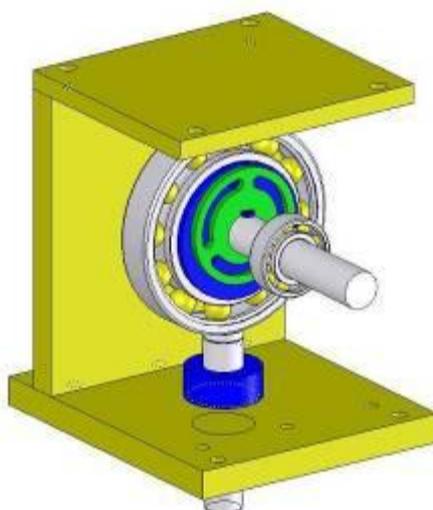


Figura 2 - Sistema excêntrico para aplicação de cargas de fadiga.

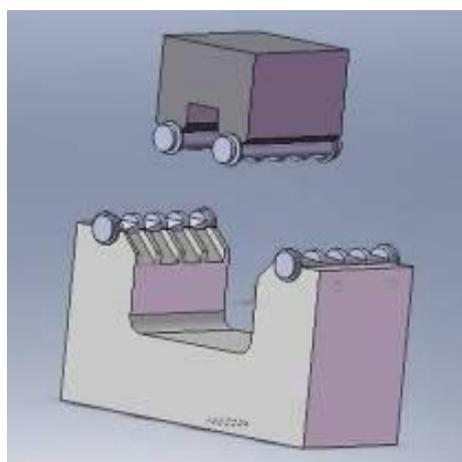


Figura 3 - Sistema de apoio da máquina de corrosão fadiga.

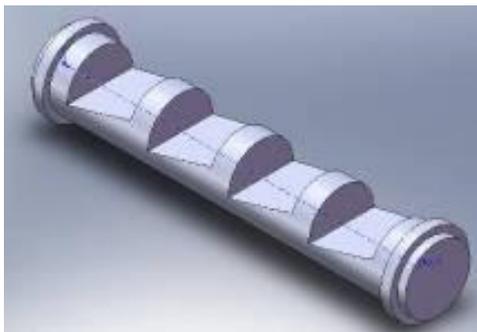


Figura 4 – Desenho do rolete para apoio dos arames.

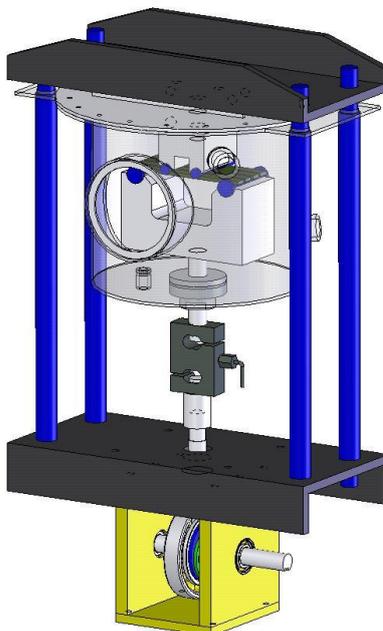


Figura 5 – Montagem geral do sistema mecânico em fase de projeto.

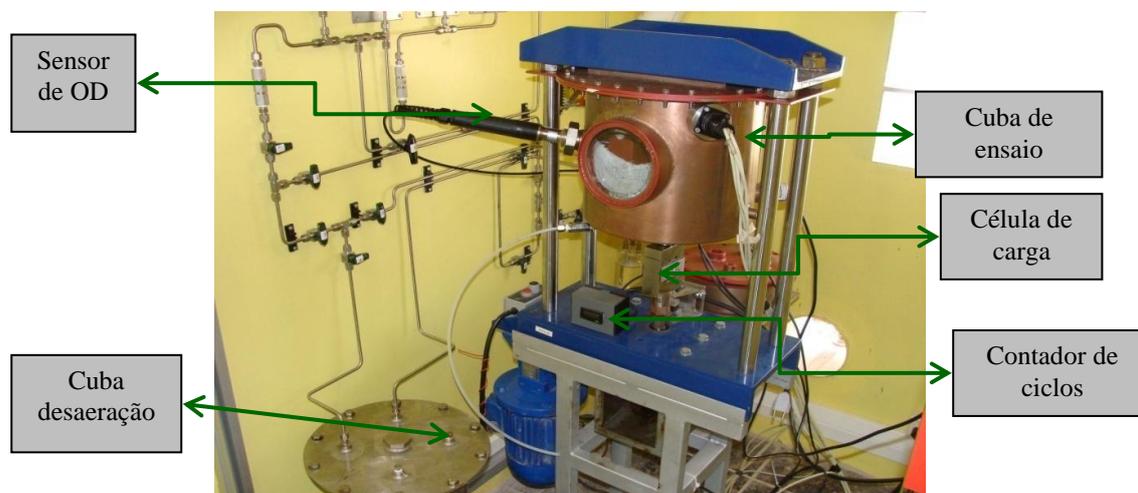


Figura 6 – Vista geral da montagem do sistema juntamente com os sensores de monitoramento e sistema de fornecimento de gases.

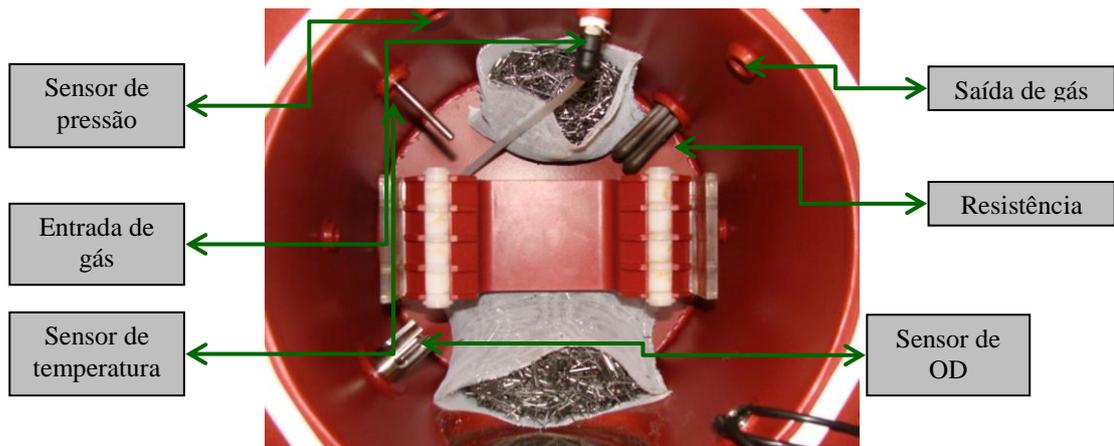


Figura 7 - Vista interna da cuba de ensaio mostrando os detalhes dos sensores, sistema de controle de temperatura bem como sistema de fixação dos corpos-de-prova.

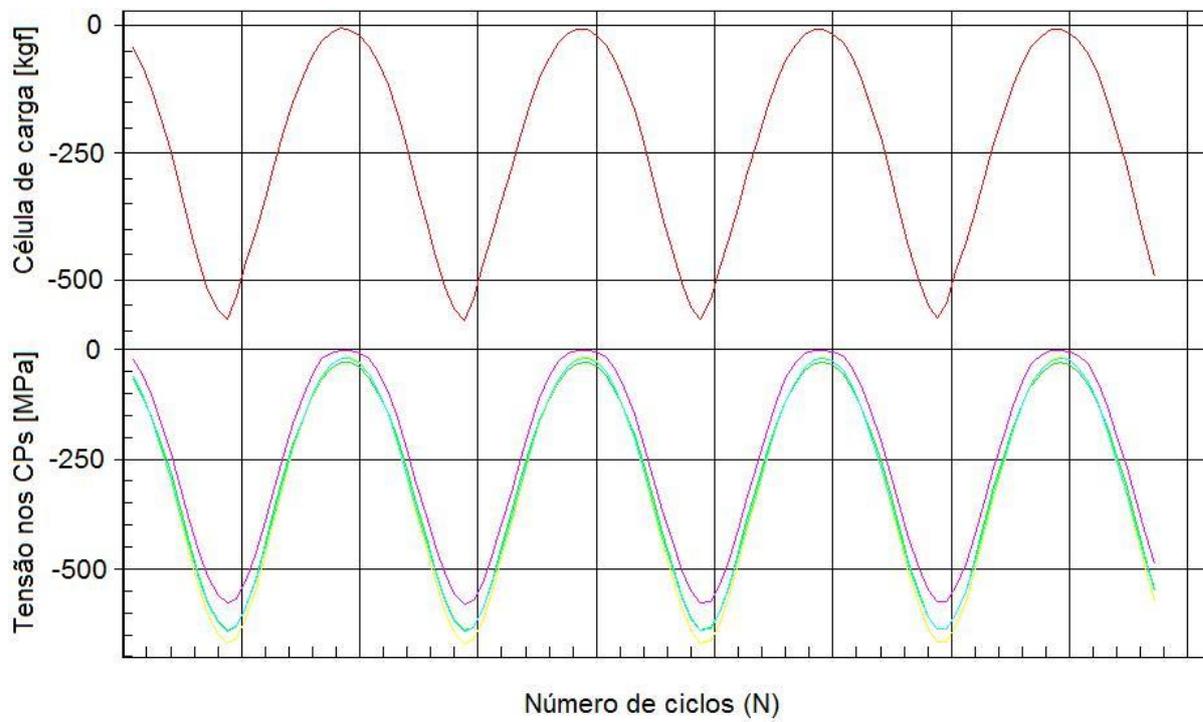


Figura 8 - Variação da tensão em fadiga nos corpos de prova dentro do recipiente de ensaio e da célula de carga externa à máquina.

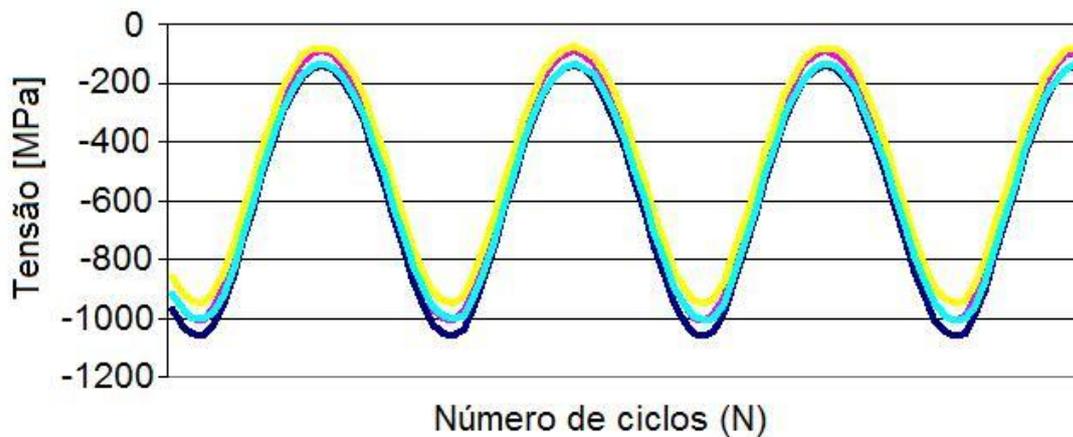


Figura 9 – Variação da tensão em fadiga de corpos de prova submetidos a maior amplitude de carregamento por deslocamento.

Tabela 1 – Dados obtidos no ensaio de fadiga para um ciclo de carregamento de aproximadamente 60 a 600 MPa.

Corpo de prova	$\sigma_{\text{Máxima}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{Mínima}}$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	R (razão de carregamento)
CP 1	640	38	602	0,06
CP 2	659	39	620	0,06
CP 3	641	19	622	0,03
CP 4	574	32	542	0,06

Tabela 2 – Dados obtidos no ensaio de fadiga para um ciclo de carregamento de aproximadamente 100 a 1000 MPa.

Corpo de prova	$\sigma_{\text{Máxima}}$ (MPa)	$\sigma_{\text{Mínima}}$ (MPa)	$\Delta\sigma$ (MPa)	R (razão de carregamento)
CP 1	1062	134	928	0,13
CP 2	973	92	880	0,10
CP 3	949	80	869	0,08
CP 4	1046	139	907	0,13

Referências bibliográficas

1. IEA - International Energy Agency. **World Energy Outlook 2006**. OECD/IEA, an annual International Energy Agency (IEA) publication, 2006.
2. ROBELIUS, F. **Giant Oil Fields – The Highway to Oil**. 2007. 168p. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculdade de ciência e Tecnologia, Universidade de Uppsala, Uppsala, Suécia, 2007.
3. BETANZOS, J. T. **Projeto, Construção e Teste de Equipamento para Ensaio de Fadiga de Risers Flexíveis**. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
4. API - AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **Recommended Practice for Flexible Pipe 17B**. Third Edition, USA, March, 2002, 166p.
5. RUBIN, A.; GUDME J. Test method for corrosion fatigue testing of cold rolled steel wire in sour and sweet environment based on deflection controlled four point bending. In: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION CORROSION NACE, March 2009, Atlanta, Georgia. **Paper No. 09103**. NACE International, 2009. 19p.
6. RUBIN, A.; GUDME J. Qualification of Steel Wire for Flexible Pipes. In: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION CORROSION NACE, March 2006, San Diego, California. **Paper No. 06149**. NACE International, 2006. 19p.
7. CAMPBELL, M.; The Complexities of Fatigue Analysis for Deepwater Risers. In: DEEPWATER PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE, March 1999, New Orleans. 13p.
8. DE LEMOS, C.A.D.; VAZ, M.A. Flexible riser fatigue design and testing. In: OFFSHORE AND POLAR ENGINEERING CONFERENCE, June 2005, Seoul, Korea. The International Society of Offshore and Polar Engineers, **ISBN 1-880653-64-8 e ISSN 1098-6189**, p. 166-172, 2005.
9. WATTERS, A.J.; SMITH, I.C.; GARRET, D.L. The lifetime dynamics of a deep water riser design. **Applied Ocean Research**, Elsevier, V. 20, p 69-81, 1998.
10. CLEMENTS, R.A.; JAMAL N.; SHELDRAKE, T. Riser strategies: fatigue testing and analysis methodologies for flexible risers. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, May 2006. Houston, Texas. **Paper No. 17764**. OTC, 2006. 6p.
11. TRILLO, E.; KANE, R.D.; ETHRIDGE, A; CLEMENTS, R. Corrosion Fatigue Testing of Armor Wire Materials in Subsea Environments. In: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION CORROSION NACE, March 2007, Nashville. **Paper No. 07103**. NACE International, 2007. 20p.
12. TAYLOR, T. S.; JOOSTEN, M. W.; SMITH, F. Technical Solutions Applied for the Treatment of Damaged Dynamic Risers. In: 21st INTERNATIONAL CONFERENCE ON OFFSHORE MECHANICS AND ARCTIC ENGINEERING, June 2002, Oslo, Norway. **Paper No. 28371**. 2002. 8p.
13. OUT, J. M. M.; KRONEMEIJER, D. A.; VAN DE LOO, P. J. e DE STERKE, A. The Integrity of Flexible Pipe: Search for an Inspection Strategy. **Engineering Structures**, Butterworth; Great Britain, V. 17, n. 4, p 305-314, 1995.
14. PICKSLEY J. W.; KAVANAGH K. Managing the integrity of Flexible Pipe Field Systems: Industry Guidelines and their Application. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, May 2002, Houston, Texas, USA. **Paper No. 14064**. 2002. 10p.