



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROJETO DE MÁQUINA DE ENSAIO DE IMPACTO DE FILAMENTOS DE CABOS DE ANCORAGEM

Yohanna dos Santos Pohlmann, yohanna.santos@yahoo.com.br¹

Yuri Barañano Souza Morales, yurimorales@hotmail.com¹

Carlos Rodrigues Rocha, carlos.rocha@riogrande.ifrs.edu.br¹

Carlos Eduardo Marcos Guilherme, carlosguilherme@furg.br²

Felipe Tempel Stumpf, felipe.stumpf@furg.br²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul - Campus Rio Grande, R. Eng. Alfredo Huch, 475 - Centro - Rio Grande(RS) CEP 96211-460

²Universidade Federal do Rio Grande, Av. Itália, km. 8 - Rio Grande(RS) CEP 96201-900

Resumo: São apresentados, neste trabalho, os resultados iniciais do desenvolvimento de um equipamento cuja finalidade é avaliar a qualidade de cabos de ancoragem. Esses cabos são essenciais para a fixação de estruturas oceânicas como plataformas de petróleo. A máquina de ensaios reproduz os esforços de impacto que os filamentos constituintes desses cabos sofrem em operação normal. São identificados aqui os requisitos de projeto e definidas as escolhas que levaram ao projeto conceitual da máquina.

Palavras-chave: Ensaio de impacto, Cabos de ancoragem, Automação, Instrumentação, Projeto de máquinas.

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho são apresentados os resultados das fases iniciais de projeto de um equipamento cuja finalidade é realizar ensaios de impacto em filamentos de cabos de ancoragem. Esses ensaios são importantes para testar os constituintes desse tipo de cabo, cuja utilização é extensa na fixação de estruturas oceânicas dedicadas à exploração de gás e petróleo *offshore*, como plataformas, *risers* e navios petroleiros. Em geral, os filamentos são de materiais sintéticos, não metálicos, uma vez que os cabos são submetidos a ambientes que promovem a rápida corrosão de metais.

O ensaio mais comumente usado nesses cabos é o de tração, por sua eficiência na relação custo-complexidade-informações obtidas. Neste ensaio, a fibra constituinte do cabo de ancoragem é inicialmente tensionada, e a máquina de ensaio aumenta gradativamente a tração aplicada até que o cabo se rompa (de Moraes, 2009). A proposta do presente trabalho é submeter o filamento a impactos longitudinais, emulando as condições encontradas em situações reais onde os cabos são utilizados, como em mar agitado, por exemplo. Pelo conhecimento dos autores, esse tipo de ensaio não é realizado por outros equipamentos de ensaio de cabos de ancoragem.

Esse projeto foi motivado por uma colaboração entre o Campus Rio Grande do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS-Rio Grande) e o Laboratório de Análise de Tensões da Universidade Federal do Rio Grande (POLICAB-FURG), do curso de Engenharia Mecânica. Nesta, alunos do curso Técnico em Automação Industrial do IFRS-Rio Grande realizaram estágio nas dependências do POLICAB-FURG, com a finalidade de projetar e construir essa máquina de ensaios. Tal equipamento seria um acréscimo aos já existentes no laboratório, que realizam ensaios de tração, fadiga, fricção e resistência a temperaturas extremas em cabos de amarração.

O restante do texto é organizado como segue. Na próxima seção são apresentados os cabos de ancoragem e seus aspectos construtivos. Após, as aplicações desses cabos e os esforços resultantes. A seguir, são discutidos os aspectos de projeto da máquina de ensaio de impacto, os requisitos de projeto e os critérios de escolha de soluções que atendam aos requisitos elencados. Após, é apresentado o resultado do projeto conceitual, que deverá ser usado para a construção futura do protótipo do equipamento. Por fim, são relacionadas conclusões a respeito do trabalho efetuado até agora e perspectivas futuras para o desenvolvimento deste projeto.

2. CABOS DE ANCORAGEM

De forma geral, os cabos de ancoragem são constituídos de filamentos, cujo material varia de acordo com a finalidade de uso do cabo. Além disso, o padrão de agrupamento dos filamentos varia de acordo com o material e também do uso

a ser dado para o cabo (Fonseca, 2005). Entre os tipos comumente utilizados estão os *cabos de aço* e os *cabos de fibra sintética* (Rossi, 2002).

Os cabos de aço são constituídos em torno de um elemento central, também de aço, denominado *alma*. Esta é uma espécie de cabo de menor diâmetro formado por arames entrelaçados. A alma é envolta por *pernas*, que são formadas por um arame de aço central ao qual são entrelaçados outros arames, como é mostrado na Fig. 1 (Fonseca, 2005).

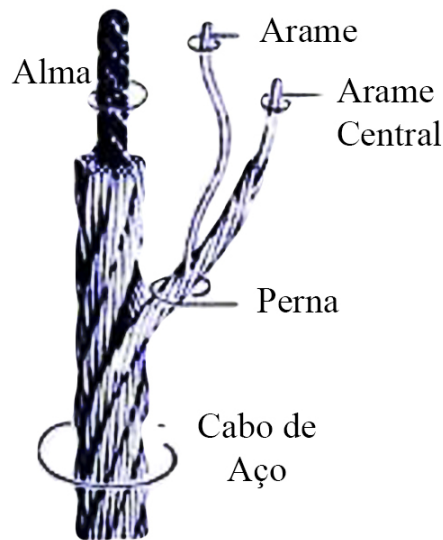


Figura 1: Composição de um cabo de aço (Adaptado de Fonseca (2005))

Os cabos sintéticos são formados pela união de *pernas* (ou *cordões*). Estas, por sua vez, são formadas pelo entrelaçamento ou torção de *filamentos primários*, como mostrado na Fig.2. Os tipos mais comuns de cabos são os torcidos de três pernas e os trançados de 8 pernas. Na construção dos cabos torcidos, cada perna é formada por fios triplos, e são torcidas à esquerda(S), formando o cabo com uma torção à direita(Z), como ilustrado na Fig.3. Os cabos trançados possuem quatro pernas trançadas à esquerda(S) e quatro pernas trançadas à direita(Z), como é mostrado na Fig.4 (Fonseca, 2005).

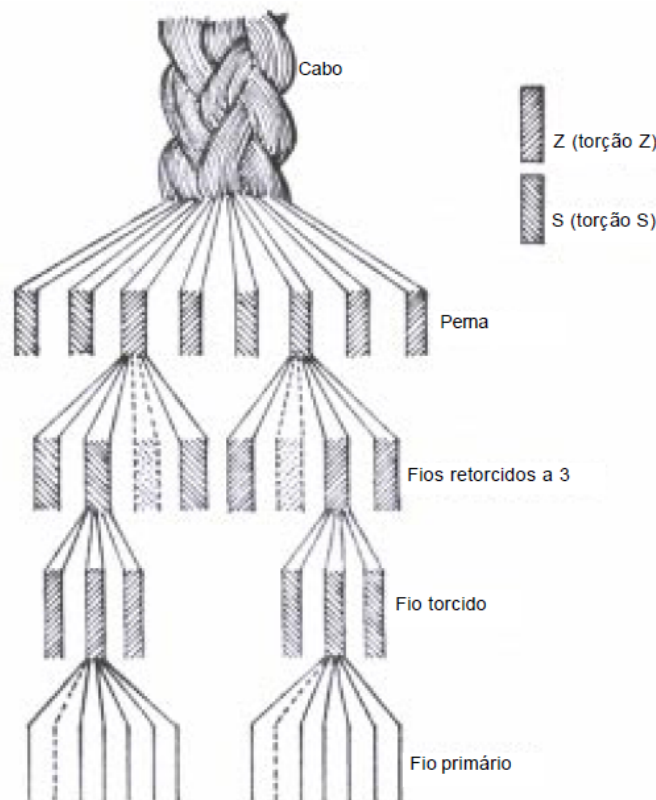


Figura 2: Composição dos cabos sintéticos (Fonseca (2005))

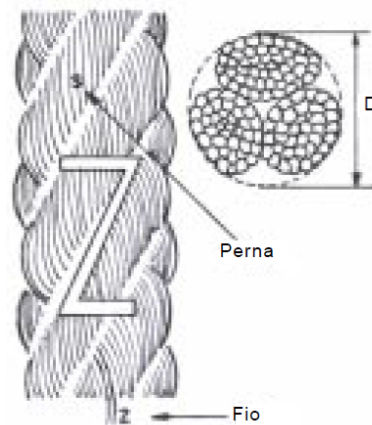


Figura 3: Cabo sintético torcido (Fonseca (2005))

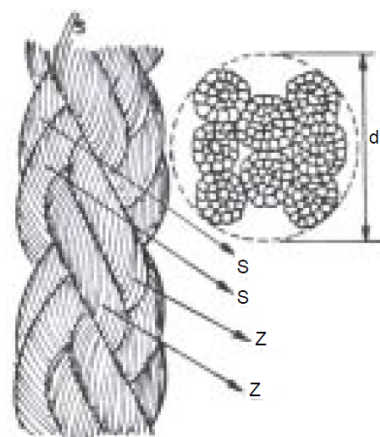


Figura 4: Cabo sintético trançado (Fonseca (2005))

3. O USO DE CABOS DE ANCORAGEM EM ESTRUTURAS OCEÂNICAS DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO E GÁS

O aumento das atividades de exploração de petróleo e gás *offshore* demandou um aumento no investimento em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias que viabilizassem a operação de plataformas e poços em águas profundas (profundidade entre 400m e 1000m) e ultraprofundas (profundidade maiores que 1000m)(da Costa *et al.*, 2010).

Os cabos de ancoragem, por serem os responsáveis pela estabilização de posição e orientação das estruturas marítimas, mereceram atenção particular (de Moraes, 2013). Inicialmente, os cabos de aço foram adotados por sua relação peso/resistência, possibilitando a fixação de plataformas em águas profundas. À medida que as plataformas passaram a operar por maiores períodos de tempo e em águas ultraprofundas, os cabos de fibras sintéticas como aramida e poliéster começaram a ser usados (Rossi, 2002).

Os cabos formados por fios sintéticos têm elevada elasticidade, o que é interessante em situações de turbulência causada pelo mar agitado, pois tal elasticidade proporciona aos cabos a resiliência necessária para suportar os esforços resultantes. Por outro lado, essa elasticidade pode levar os cabos a sofrerem um alongamento excessivo, principalmente quando o comprimento deles é elevado por conta da profundidade do leito oceânico. Isso pode resultar num deslocamento indesejado da plataforma, forçando oleodutos e cabos e, numa situação limite, a danos a estes, paralisando o processo(Vlasblom *et al.*, 2012).

Os cabos de ancoragem devem ser projetados não apenas para resistir à tração, mas também à fadiga e a impactos. A fadiga é causada pelos esforços cíclicos gerados pelo movimento da estrutura oceânica pelas ondas, o que com o tempo causa a fragilização do material, que poderá romper ao ser aplicada uma força menor do que a tração máxima que um cabo consegue suportar continuamente. A Eq. 1 expressa a tensão de ruptura à fadiga, representada por σ_a ,

$$\sigma_a = \sigma_f (2N_f)^b \quad (1)$$

onde σ_f é o coeficiente de resistência à fadiga, N_f o número de ciclos até o rompimento e b é o expoente de resistência à fadiga(Wallner, 2001).

O esforço de impacto é causado pelo movimento súbito das estruturas oceânicas em virtude de movimentos bruscos causados por mau tempo, por exemplo. O tracionamento nos cabos ocorre bruscamente, diferentemente dos esforços

cíclicos de fadiga e mesmo de um tracionamento constante em águas calmas. A força de impacto, representada por I , é determinada pela Eq. 2,

$$I = m\Delta v = F\Delta t \quad (2)$$

onde m é a massa da estrutura oceânica ancorada pelo cabo e Δv é o diferencial de velocidade causada pelo impacto. A força de impacto F é a necessária para reduzir a velocidade da estrutura oceânica a zero, após ter sido acelerada pelo mar, e Δt é o tempo de propagação da força de impacto no cabo (Halliday, Resnick, Walker, 2001).

Os esforços nos cabos são distribuídos pelos seus componentes. No caso dos cabos de fibras sintéticas, esses esforços podem ser assumidos como sendo distribuídos uniformemente pelas fibras. Assim, a análise dos resultados de aplicação desses esforços sobre uma fibra de determinado material permite inferir como um cabo constituído totalmente por esse tipo de material irá se comportar em situações como as enfrentadas no mar.

4. LEVANTAMENTO DE REQUISITOS

A fase inicial do desenvolvimento do projeto consistiu em reunir as informações relativas aos ensaios em cabos e o que seria o ensaio de impacto desejado pelos pesquisadores do POLICAB-FURG. Assim, além de reuniões com esses pesquisadores para que estes informassem as características que desejavam para o equipamento, foram conduzidos ensaios de tração em filamentos sintéticos e em cabos, para que o assunto fosse apropriado pelos projetistas. Após, foram feitos estudos sobre as questões de impacto e esforços típicos em cabos de ancoragem que possam causá-los. Com isso, foram identificados os seguintes requisitos de projeto:

Geração de impactos similares aos reais O equipamento deve ser capaz de reproduzir os esforços de impacto que ocorrem em situações reais. Isso significa que devem ter atuadores que reproduzam a tensão esperada nas fibras com alta velocidade.

Aquisição de dados suficientes para análise do ensaio Deve ter um conjunto de sensores que possibilitem medir grandezas como deslocamento da fibra, força aplicada a ela, tempo entre a aplicação do impacto e rompimento do cabo. Além disso, a aquisição de dados deve ser feita com uma frequência elevada, visto que o intervalo em que a força de impacto é aplicada é pequeno, com muitas variações de grandezas ocorrendo ali.

Ter uma interface simples e intuitiva Além de ser usada para iniciar o ensaio, a Interface Humano-Máquina(IHM) do equipamento deve prover recursos para reunir e apresentar os dados resultantes de forma que permita fácil interpretação de resultados, através de gráficos que ilustrem o comportamento do ensaio, por exemplo. Além disso, que permita exportar os dados para armazenamento e processamento em outros software.

Segurança de operação Uma vez que os ensaios envolvem a aplicação de forças em curtos espaços de tempo, há possibilidade de ferir os operadores presentes, seja por causa dos atuadores, seja pelo rompimento da fibra, que pode atingir objetos a grandes velocidades e causar danos. Assim, o equipamento deve contar com proteções físicas e lógicas, que não permitam que o ensaio ocorra sem que haja condições seguras de uso.

Além desses requisitos essenciais, um dos aspectos a considerar nas escolhas de projeto seria o uso de sensores e atuadores disponíveis tanto no POLICAB-FURG quanto no IFRS-Rio Grande, bem como a eletrônica para aquisição de dados e comando, a fim de diminuir custos e aproveitar a base de conhecimento e experiência existente nas duas instituições.

5. ESCOLHAS DE PROJETO

Uma vez identificados os requisitos do projeto, foram enumeradas as possibilidades que atendessem a cada um deles, procurando delimitar as escolhas no material disponível nas duas Instituições de Ensino. Isso não significou que outras possibilidades não pudessem ser estudadas ou mesmo adotadas, se atendessem aos requisitos de forma mais simples e mais eficaz, ao menos para a construção de um protótipo para que se pudesse fazer uma prova prática do resultado do projeto conceitual do equipamento. Os resultados dessas escolhas são listados a seguir.

Atuadores pneumáticos Para a geração do impacto sobre o filamento de prova, optou-se pelo uso de cilindros pneumáticos de dupla ação. O motivo da escolha foi o rápido acionamento, com capacidade de gerar as forças necessárias para a execução dos ensaios. Além disso, havia disponibilidade de cilindros e linhas pneumáticas para a sua utilização.

Uso de um DAQ(Data Acquisition device) dedicado A escolha inicial recaiu sobre o uso de um microcontrolador para gerenciar atuação e aquisição de dados. Porém, uma vez que o tempo de execução do ensaio é reduzido, com uma grande quantidade de medições a serem realizadas, surgiu a preocupação do hardware a ser utilizado não conseguir adquirir na velocidade desejada. Por isso, optou-se por um equipamento dedicado para aquisição de dados, com frequência de leitura adequada para monitorar as variações das grandezas medidas durante todo o processo.

Microcomputador como IHM Uma vez escolhido um DAQ como equipamento de aquisição de dados, optou-se pelo uso de uma interface humano-máquina baseada em microcomputador. Assim, através da comunicação com o DAQ e com um microcontrolador dedicado à atuação, torna-se possível operar o equipamento diretamente da aplicação a ser criada para essa finalidade, que não apenas disparará o processo, mas processará os dados obtidos para traçar os gráficos correspondentes para facilitar a análise dos resultados.

Sensores Para a medição da deformação do fio, será utilizado um sensor óptico infravermelho analógico de distância. Ele será utilizado para medir a distância percorrida pelo carro que prende o fio, que é deslocado pelo cilindro pneumático. O esforço sofrido pelo filamento ao longo do ensaio será medido por uma célula de carga resistiva. O tempo do ensaio é fornecido pelo próprio dispositivo de aquisição de dados.

Proteção A fim de manter o ensaio seguro, foi definido que a parte onde o ensaio ocorre será coberta por um anteparo transparente, cujo fechamento será monitorado por um sensor. Assim, o ensaio só poderá ser iniciado quando o anteparo estiver em posição. Isso será monitorado pelo microcontrolador que será responsável pelo acionamento do cilindro pneumático, não podendo ser desativado pelo aplicativo de IHM.

6. CONCEPÇÃO INICIAL DA MÁQUINA DE ENSAIOS

Durante o processo de escolha dos componentes do projeto, foram feitos esboços do equipamento, com os componentes escolhidos. A versão escolhida para a construção de um protótipo é a mostrada na Fig. 5.

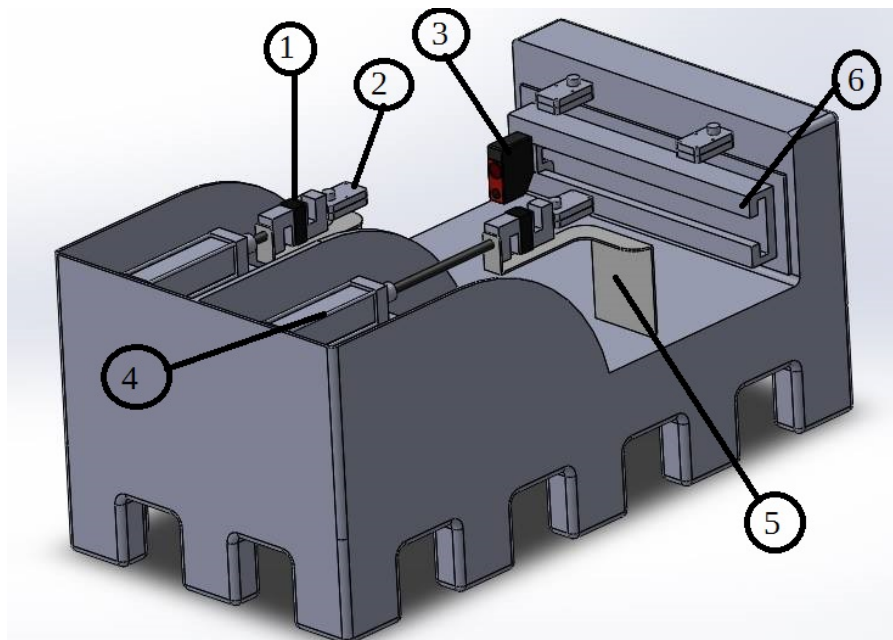


Figura 5: Visão geral do protótipo da máquina de ensaios de impacto

Inicialmente, é possível observar que a máquina tem dois atuadores, em função dos materiais mais comuns usados para fabricação dos filamentos sintéticos para cabos de ancoragem, que são a aramida e o poliéster. Com base nos ensaios de tração executados na fase informacional do projeto, verificou-se que os filamentos de poliéster rompiam com forças de 150N aplicadas a eles, enquanto os filamentos de aramida rompiam a 3600N. Por isso, foram definidos dois cilindros, um que opera na faixa de 20N a 250N, enquanto outro opera na faixa de 260N a 4000N.

As escolhas de projeto estão indicadas na Fig. 5. Para cada conjunto de atuadores, há uma célula de carga (identificada como elemento 1 na Figura), sobre a qual é montado o fixador móvel do filamento de prova (elemento 2). O elemento 3 é sensor óptico de distância, que pode se deslocar entre um conjunto atuador e outro através da guia (elemento 6). O atuador pneumático é indicado como o elemento 4. O elemento 5 é o anteparo utilizado como referência para a medição de distância pelo sensor óptico.

As dimensões da máquina foram definidas em função do tamanho dos componentes e do comprimento padrão a ser adotado pelo filamento de prova. Levou-se também em consideração o alongamento no fio causado pelos esforços a ele aplicados, adotando-se um valor de 15% de alongamento, que ocorre em ensaios de tração em fios de poliéster, que tem a maior elasticidade entre os filamentos testados. Adotando-se um comprimento de 280mm para o filamento de prova, e levando em consideração o curso dos cilindros pneumáticos, obteve-se uma distância limite de 350mm, que é maior do que o comprimento do fio no limite de alongamento (322mm). A Figura 6 ilustra algumas das dimensões da máquina.

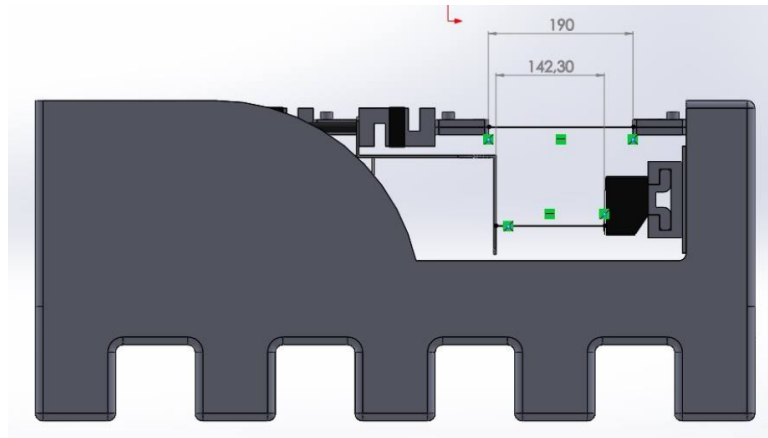


Figura 6: Algumas dimensões da máquina de ensaios de impacto

7. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu os resultados iniciais do projeto de uma máquina de testes de impacto para filamentos sintéticos de cabos de ancoragem. O levantamento de requisitos e as escolhas de projeto foram aqui listados, bem como foi apresentado um desenho resultante do processo de projeto conceitual do equipamento.

Tal equipamento será um importante instrumento para a análise da qualidade de fabricação dos cabos de ancoragem, que são essenciais para a fixação de estruturas oceânicas de exploração de petróleo e gás *offshore*. Pelo conhecimento dos autores, não há uma máquina de ensaios dessa natureza, que procura reproduzir um tipo de esforço comumente enfrentado pelos cabos em situações reais de mar agitado. Assim, espera-se que tal projeto seja uma contribuição para o desenvolvimento de tecnologias navais.

Com base no resultado do projeto conceitual aqui apresentado, está sendo construído um protótipo para que se possa conduzir testes de prova de conceito. Com isso, será possível avaliar as escolhas de projeto, fazer os ajustes necessários e posteriormente levar à construção de um equipamento que seja utilizado em situações de operação. Tais resultados serão apresentados em trabalhos futuros.

8. REFERÊNCIAS

- da Costa, R.C., Boeira, R.L. and de Azevedo, C.B., 2010. "Perspectivas e desafios no setor de petróleo e gás". In *O BNDES em um BRASIL em Transição*. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico - BNDES, Rio de Janeiro, pp. 275–292.
- de Moraes, W.A., 2009. "Conformação plástica dos metais". Apostila, Universidade Santa Cecília, Santos.
- de Moraes, J.M., 2013. *Petróleo em águas profundas: uma história tecnológica da Petrobras na exploração e produção offshore*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília.
- Fonseca, M.M., 2005. *Arte Naval*. Serviço de Documentação da Marinha, Rio de Janeiro, 7th edition.
- Halliday, Resnick, Walker, 2001. *Fundamentos de Física - Mecânica*. LTC, Washington, 6th edition.
- Rossi, R.R., 2002. *Cabos de Poliéster Para Ancoragem de Plataformas Oceânicas em Águas Ultraprofundas*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, Rio de Janeiro.
- Vlasblom, M., Boesten, J., Leite, S., Davies, P. *et al.*, 2012. "Development of hmpe fiber for permanent deepwater offshore mooring". In *Offshore Technology Conference*. Offshore Technology Conference, Houston, Vol. 1, pp. 26–37.
- Wallner, C., 2001. "Vida em fadiga do aço arbl com estrutura bifásica ferrita-perlita". Technical report, Faculdade de Engenharia Industrial - Departamento de Engenharia Mecânica.

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN OF AN IMPACT TESTING MACHINE FOR ANCHORING CABLE FILAMENTS

Yohanna dos Santos Pohlmann, yohanna.santos@yahoo.com.br¹

Yuri Barañano Souza Morales, yurimorales@hotmail.com¹

Carlos Rodrigues Rocha, carlos.rocha@riogrande.ifrs.edu.br¹

Carlos Eduardo Marcos Guilherme, carlosguilherme@furg.br²

Felipe Tempel Stumpf, felipe.stumpf@furg.br²

¹Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Sul - Rio Grande Campus, R. Eng. Alfredo Huch, 475 - Centro - Rio Grande(RS) CEP 96211-460, Brazil

²Federal University of Rio Grande, Av. Itália, km. 8 - Rio Grande(RS) CEP 96201-900, Brazil

Abstract: *This work presents the initial results from the development of an equipment aimed to evaluate the quality of anchoring cables. These cables are essential to immobilize oceanic structures such as offshore oil platforms. The testing machine reproduces the impact forces that the filaments which form the cables suffer while submitted to normal operation. The design requisites are identified and the choices that led to the conceptual project of the machine are defined.*

Keywords: *Impact test, Anchoring cables, Automation, Instrumentation, Machine design.*