

## **ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE OS EFEITOS DO IMPACTO EM TRAÇÃO NA RESISTÊNCIA À FADIGA E NO ALONGAMENTO DE FIOS DE POLIÉSTER APLICADOS EM CABOS DE AMARRAÇÃO DE PLATAFORMAS OFFSHORE**

### ***EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE IMPACT EFFECTS ON FATIGUE RESISTANCE AND ELONGATION OF THE POLYESTER YARNS APPLIED IN MOORING CABLES TO PLATFORMS OFFSHORE***

Emilio Luiz Vieira Louzada<sup>1</sup>

Carlos Eduardo Marcos Guilherme<sup>2</sup>

Felipe Tempel Stumpf<sup>3</sup>

**Resumo:** Atualmente, o início da exploração de petróleo em águas cada vez mais profundas trouxe consigo a preferência pelo uso de cabos sintéticos para as amarrações de plataformas. Este trabalho tem por objetivo conhecer os efeitos do impacto na resistência à fadiga e no alongamento de fios de poliéster (PET). Através dos materiais e equipamentos disponibilizados pela Universidade Federal do Rio Grande – POLICAB é realizado um ensaio de impacto e em seguida o ensaio de fadiga até a ruptura do multifilamento polimérico, permitindo comparar os resultados com os encontrados na literatura e constatando-se que uma carga vertical súbita provoca redução na vida útil do fio.

**Palavras-chave:** Cabos Sintéticos. Impacto. Fadiga.

**Abstract:** Nowadays, the beginning of the oil exploration in deep-water produced a preference to use of synthetic cables in mooring of platform. This paper aims to understanding the effects of the impact on fatigue resistance and elongation of the polyester (PET) yarns. With the materials and equipment provided by Universidade Federal do Rio Grande - POLICAB is realized a tensile impact test and after that, a testing of fatigue until the fail of the multifilament polymeric. In the sequence, the results are compares with the provided by literature and verified that a sudden vertical load produces a reducing the life in fatigue of the yarns.

**Keywords:** Synthetic Cables. Impact. Fatigue.

---

<sup>1</sup> Mestrando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande, FURG. E-mail: emilioluizlouzada@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande, FURG. E-mail: carlosguilherme@furg.br

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande, FURG. E-mail: felipe.stumpf@furg.br

# 1 INTRODUÇÃO

A exploração de petróleo para zonas cada vez mais distantes da costa, onde as lâminas d'água são profundas e ultraprofundas, fez com que fosse necessária a adoção de certas mudanças em procedimentos aplicados à indústria offshore, como por exemplo o tradicional sistema de ancoragem em catenária das plataformas, que tornou-se impraticável principalmente devido ao excesso de carga vertical do cabo de aço. Este sistema foi substituído por um sistema de ancoragem chamado de Taut-Leg (Fig. 1), que utiliza amarração com cabos sintéticos, por apresentar algumas vantagens, como, principalmente, seu baixo peso, mas com desvantagens como a falta de conhecimento a respeito de seu comportamento mecânico (CHIMISSO, 2011).

Entre os multifilamentos poliméricos que atualmente mais se aplicam a cabos de ancoragem, pode-se destacar o fio de poliéster (PET). Com características de comportamento não-linear viscoplástico e viscoelástico (Huang et al., 2012), o poliéster foi o primeiro material a ser empregado nas aplicações de amarrações de plataformas em águas profundas (CHIMISSO, 2011) devido à sua elevada resistência à fadiga, e com a vantagem de não ser afetada pela água do mar (BOSMAN, 1996). No entanto, esse material apresenta uma redução significativa do número de ciclos até a ruptura quando sujeito a limites de carregamento cíclico com elevada força máxima (BOSMAN, 1996), suportando aproximadamente 100.000 ciclos quando opera entre 0% e 70% YBL (Yarn Break Load). Quando a força de carregamento de pico é reduzida para 60% YBL, essa fibra suporta em torno de 1.000.000 de ciclos (VANNUCCHI et al., 2016).

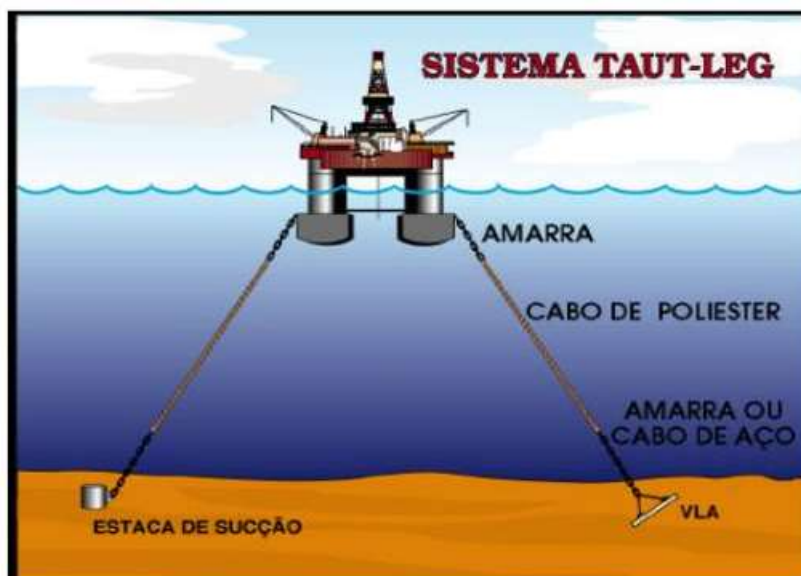
Sabendo que em condições reais de operação offshore, os cabos de poliéster sujeitos a carregamentos cíclicos apresentam uma vida útil de aproximadamente 20 anos, torna-se inviável reproduzir em laboratório ensaios de fadiga nessas condições, com isso a bibliografia (BANFIELD et al., 1999) aborda, como alternativa, testes que utilizem maiores amplitude ou carga média. Dessa maneira, os ensaios seguem como referência as condições disponíveis em Vannucchi et al. (2016) cujos os carregamentos foram definidos em condições extremas e a frequência de ciclagem seguindo a norma DNV-

OS-E303 que contêm os requisitos para a certificação de cabos de amarração utilizados na indústria offshore.

Entretanto, esses cabos sintéticos podem sofrer outro tipo de carregamento, como cargas de impacto verticais devido à parada momentânea do sistema de lançamento da estaca torpedo, ou um estiramento inesperado durante uma operação de reboque de navio. Visto que não existem normas certificadoras de testes de impacto em multifilamentos poliméricos, é desenvolvido pelos autores um script baseado no comportamento dos fios perante carregamentos súbitos.

Então, o trabalho tem por finalidade compreender as consequências das cargas de impacto, equivalentes a 6% YBL, 10% YBL e 13% YBL, na resistência à fadiga e no alongamento do fio de poliéster. Essas compreensões serão através de um diagrama existente na literatura, que relacionam o número de ciclos para ruptura (Log N) com a força mínima de carregamento, e uma tabela comparando os estiramentos máximos do fio quando sujeito a impacto e a tração.

Figura 1 – Sistemas de ancoragem tipo *Taut-Leg*.



Fonte: Gonçalves e Costa, (2002).

## 2 MATERIAIS E ENSAIOS EXPERIMENTAIS

O material do fio ensaiado é o poliéster. As condições de ensaios são espécimes de 500 mm de comprimento com terminações do tipo “sanduíche”, como pode ser visto na Fig. 2, em função do bom desempenho que este tipo de terminal apresentou em ensaios prévios (PFARRIUS et al., 2007). Estes espécimes são mantidos, durante 24 horas em ambiente com temperatura e umidade relativa controladas de  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  e  $65\pm 4\%$ , respectivamente, antes e durante os testes, ou seja, nas mesmas condições utilizadas em Vannucch et al. (2016).

**Figura 2** – Terminação do espécime do tipo “sanduíche”.



Fonte: Autores, 2017

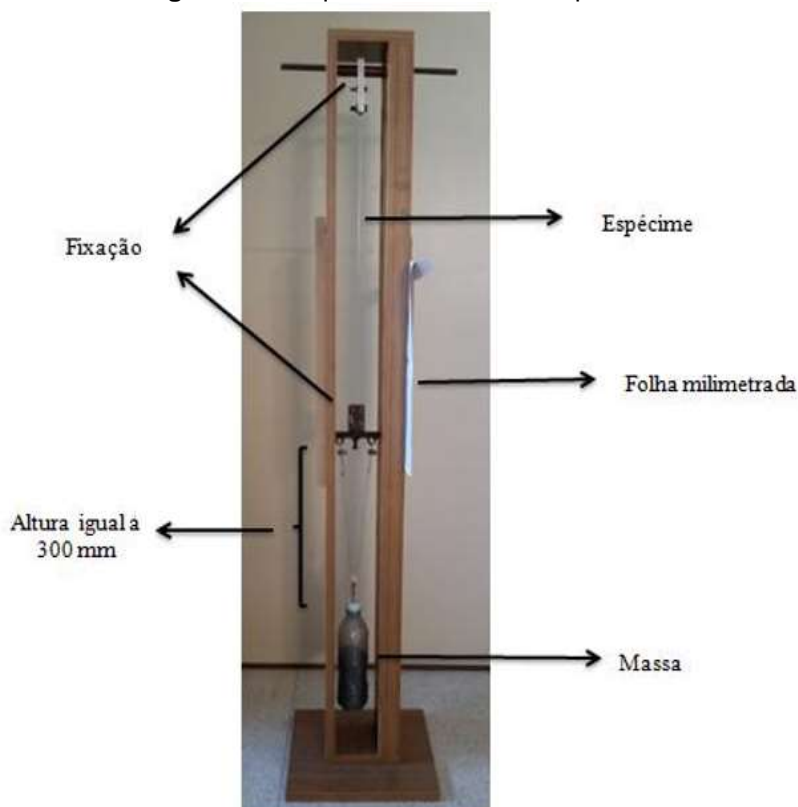
## 2.1 Ensaios de tração

Os dados sobre a força de ruptura e alongamento máximo são obtidos no Laboratório de Análise de Tensões – POLICAB em uma máquina de ensaios universal eletromecânica EMIC DL-2000, com célula de carga com capacidade de  $\pm 0,5$  kN , uma velocidade de rampa igual a 500 mm/min e utilizando as condições de ensaios já citadas. Realizaram-se dez ensaios, e a força média de ruptura foi de 165,44 N.

## 2.2 Ensaios de impacto

Os testes de impacto são realizados em um dispositivo de ensaio desenvolvido pelos autores e pode ser visto na Fig. 3. Este dispositivo fornece ao fio uma energia potencial gravitacional através de uma massa solta a 300 mm de altura. A cada dez espécimes ensaiados, a energia de impacto é alterada através da modificação da massa. Os resultados obtidos nos ensaios apresentam baixa precisão, mas o suficiente para o andamento da pesquisa.

**Figura 3** – Máquina de ensaio de impacto.



**Fonte:** Autores, 2017

São utilizadas três diferentes energias, equivalentes a 3J, 5J e 6,5J, como descrito na Tab. 1, sendo que a energia de ruptura do fio por impacto está em torno de 6,5J, dado obtido em ensaios preliminares. Fora, também, coletado o alongamento máximo do corpo de prova durante a aplicação da carga, ou seja, um marcador junto à extremidade inferior da fixação do espécime (Fig. 3), marca em uma folha milimetrada o deslocamento dessa extremidade causado pelo lançamento da massa, ao passo que a extremidade superior se mantém parada. Logo, o deslocamento da extremidade inferior equivale ao alongamento máximo do fio de poliéster.

**Tabela 1** – Energia de impacto associada a massa em queda livre, expressa em %YBL.

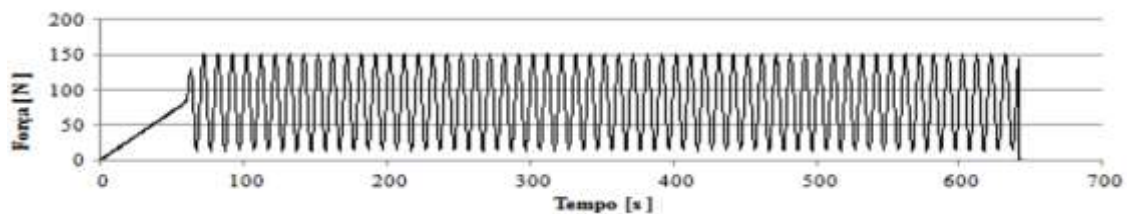
Energia (J)	Massa em queda livre (%YBL)
3	6
5	10

Fonte: Autores, 2017

### 2.3 Ensaio de fadiga

Os ensaios de fadiga são realizados em uma máquina de ensaios universal hidromecânica modelo INSTRON 8801, com uma célula de carga com capacidade de  $\pm 10$  kN, utilizando uma frequência de 0,1 Hz e faixas de carregamento de 10%-90% YBL. O teste de fadiga é controlado por força, sendo aplicada uma pré-tensão de 1 N (VANNUCCHI et al., 2016), seguido de uma rampa de velocidade controlada até a força média do intervalo de carregamento, ilustrado na Fig. 4.

Figura 4 – Condições do ensaio de fadiga.



Fonte: Autores, 2017

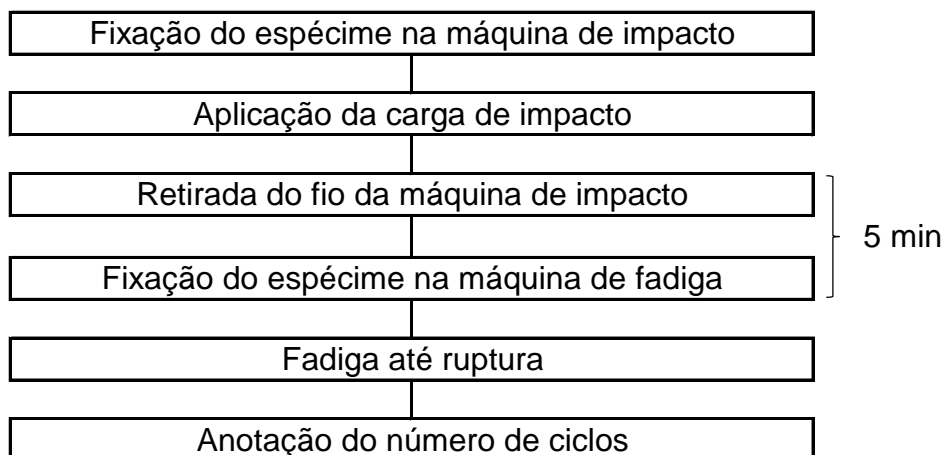
### 2.4 Procedimento experimental

Sabendo que não existe uma metodologia de ensaio que aborde impacto e fadiga para materiais poliméricos, é desenvolvido um procedimento que serviu de base para o desenvolvimento deste trabalho. O procedimento (Fig. 5) consiste na fixação do espécime na máquina de impacto, sendo aplicada uma carga vertical. Em um intervalo de cinco minutos, o corpo de prova é retirado da máquina de impacto e encaminhado ao ensaio de fadiga. Como forma de obter resultados condizentes o procedimento é realizado em uma amostragem de dez fios para cada energia.

Finalizado esse procedimento, os resultados das amostragens são comparados aos existentes na literatura referente à resistência do fio de poliéster frente à fadiga, quando é analisado se houve ou não redução na sua vida útil. Em relação ao efeito do teste de impacto sobre o estiramento do espécime, é feita a marcação do seu alongamento máximo através da folha

milimetrada. Na sequência, é comparado com o alongamento máximo desse fio quando submetido a tração pura.

**Figura 5** – Procedimento experimental para o estudo do efeito do impacto na resistência à fadiga.



Fonte: Autores, 2017

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Efeitos do impacto na resistência à fadiga

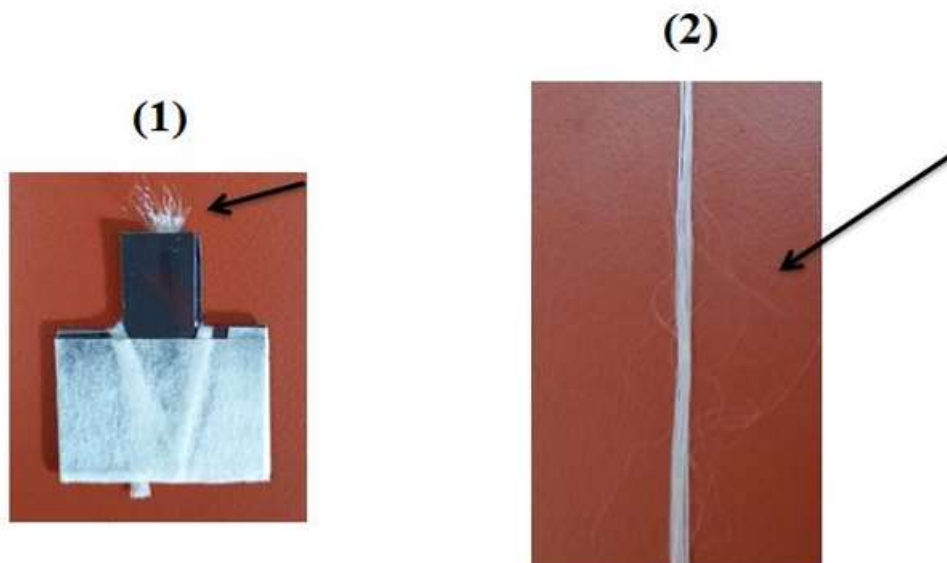
Executado o procedimento experimental no fio de poliéster, para análise da sua vida útil são utilizados apenas cinco ensaios em cada energia, sendo desprezados resultados considerados insatisfatórios ou com valores não condizentes a realidade (Tab. 2). Os resultados considerados insatisfatórios (Fig. 6) são devido a fatores como: corpos de prova que sofreram fratura na garra ou uma distância máxima de 10 mm, e espécimes visivelmente deteriorados após o ensaio de impacto.

**Tabela 2** – Número de ciclos suportado pelo fio de poliéster

Energia (J)	Número de ciclos até a ruptura					Média
3	21	32	38	32	31	30,80
5	28	24	34	28	33	29,40
6,5	25	30	38	54	31	35,60

Fonte: Autores, 2017

**Figura 6** – (1) Espécimes com fratura próxima à garra ou (2) visivelmente deteriorados.



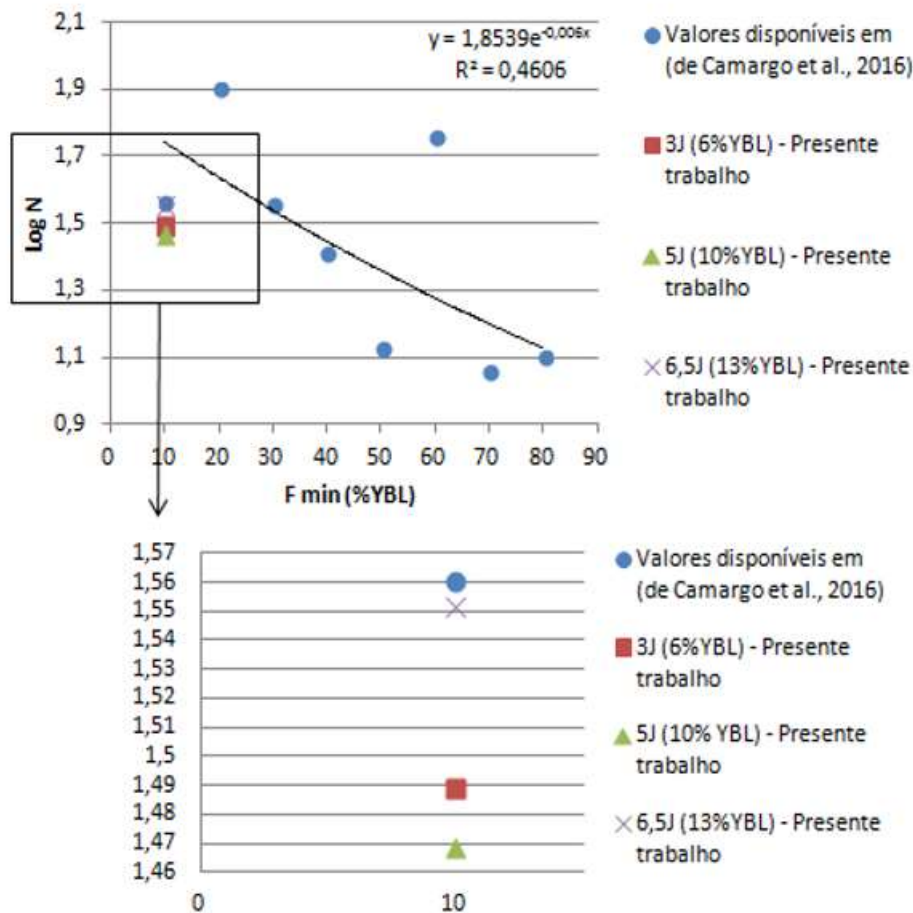
Fonte: Autores, 2017

Avaliando os valores médios obtidos na Tab. 2, não é possível obter uma relação sobre a quantidade de energia fornecida ao fio (3J, 5J ou 6,5J) com o número de ciclos até sua ruptura e somente com a realização de mais ensaios seria possível discutir sobre a tendência dos resultados. Além disso, acrescentam-se os pontos da média do número de ciclos até a ruptura do fio para cada carga de impacto sobre o diagrama da Fig. 7, disponível em Vannucchi et al. (2016). Esse diagrama relaciona o número de ciclos para ruptura ( $\log N$ ) com a força mínima de carregamento, expressa em %YBL, frente à fadiga.

Em referência à Fig. 7, é possível notar que os pontos acrescentados ao diagrama estão abaixo do ponto da média do número de ciclos para a ruptura do fio frente à fadiga, nos limites de carregamento de 10%-90% YBL. Logo, os resultados obtidos são esperados, uma vez que a energia absorvida pelo espécime no carregamento de impacto deva causar danos ao material, como por exemplo, fraturas internas.

**Figura 7** – Vida útil do fio de poliéster frente à fadiga e quando for submetido ao impacto e em seguida à fadiga.





Fonte: Autores, 2017

### 3.2 Efeitos do impacto no alongamento do fio

Juntamente aos ensaios para determinar o limite de ruptura do material, dados relativos ao seu alongamento máximo são coletados para que sejam comparados aos obtidos quando o fio falhar somente por impacto. Verifica-se que uma energia potencial por volta de 6,5J, o que corresponde a uma carga aproximada de 13%YBL solta a 300 mm de altura, é suficiente para causar a falha do fio. Logo, um conjunto de dez amostras é submetido a essa condição e uma escala utilizada para obter o alongamento do fio em ruptura. Resultados comparando o estiramento dos fios durante os testes de tração e ensaios dinâmicos são mostrados na Tab. 3. Como esperado, observa-se que as amostras tendem a alongar consideravelmente menos em ruptura quando a carga aplicada é abrupta devido a uma dissipação menor de energia comparando a uma carga aplicada na forma quase estática.

**Tabela 3** – Alongamento máximo nos testes de impacto e de tração.

<b>Alongamento máximo para ruptura</b>	
Tração	57,52 mm
Impacto	51,60 mm

Fonte: Autores, 2017

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho mostra uma avaliação preliminar sobre as consequências de uma carga vertical súbita na capacidade do multifilamento de poliéster para resistir a uma carga cíclica de carregamento, que varia entre 10% YBL e 90%YBL, através da comparação de resultados obtidos em ensaios aos disponíveis na literatura para o material virgem. Como esperado, verifica-se que uma carga de impacto aproximada de 6%,10% ou 13% da carga de ruptura do fio é suficiente para provocar a redução na resistência à fadiga do multifilamento de poliéster.

A respeito do alongamento máximo do fio de poliéster, é possível perceber que os testes de tração conduzem a um alongamento maior, que pode ser explicado basicamente, pelo comportamento viscoelástico do material, que durante a carga de impacto não possui tempo suficiente para dissipar a energia potencial, por exemplo, na forma de energia térmica. Ademais, é interessante notar que uma carga repentina por volta de 13% da carga de ruptura do material é suficiente para levar a ruptura por impacto do fio, sendo consideravelmente baixa, de modo que precauções devem ser tomadas nas operações com cordas de amarração produzidas em poliéster.

## **REFERÊNCIAS**

BANFIELD, Stephen J. et al. Comparison of fatigue data for polyester and wire ropes relevant to deepwater moorings. In: **18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering Proceedings**. 1999.

BOSMAN, Rig0 LM. On the origin of heat build-up in polyester ropes. In: **OCEANS'96. MTS/IEEE. Prospects for the 21st Century. Conference Proceedings**. IEEE, 1996. p. 332-338.

Chimisso, G.E.F., 2011. **The past, the present and the future of policab: the challenge of synthetic mooring ropes anchorages pre-salt petroleum basin, in Brazil**. 10th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, 2011, Germany.

GONÇALVES, R. C. F.; COSTA, L. C. S. Inspeção em linhas de ancoragem de unidades de produção. In: **Anais do 21º Congresso Nacional de Ensaio não Destrutivos**. 2002. p. 19-22.

HUANG, Wei et al. Modeling nonlinear creep and recovery behaviors of synthetic fiber ropes for deepwater moorings. **Applied Ocean Research**, v. 39, p. 113-120, 2013.

PFARRIUS, J. D.; DUARTE, E.; CHIMISSO, F. E. G. Theoretical and experimental modeling of a socket sandwich for use in tension tests of synthetic ropes. In: **Vrnjacka Banja: 6th Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics**. 2007.

VANNUCCHI, de Camargo et al. CYCLIC STRESS ANALYSIS OF POLYESTER ARAMID POLYETHYLENE AND LIQUID CRYSTAL POLYMER YARNS. 2016.

Enviado em: 24 jun. 2017

Aceito em: 25 jun. 2017

Editores responsáveis: Mateus das Neves Gomes/ Liércio André Isoldi