

# **INFLUÊNCIA DAS DEFORMAÇÕES CÍCLICAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DAS CAMADAS POLIMÉRICAS DOS CABOS SUBMARINOS**

## **Nelsón Cárdenas Olivier**

Centro de Estruturas Navais e Oceânicas da Universidade de São Paulo. Brasil.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cid. Universitária, CEP 05508-900, São Paulo Brasil  
Tel- (+11) 3091 5505 e (+11) 3091 5189, Fax- (+11) 3091 4811  
[nolivier@usp.br](mailto:nolivier@usp.br)

## **Edison Gonçalves**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cid. Universitária, CEP 05508-900, São Paulo Brasil  
Tel- (+11) 3091 5505 e (+11) 3091 5189, Fax- (+11) 3091 4811  
[edison@usp.br](mailto:edison@usp.br)

**Resumo.** *O presente trabalho apresenta um estudo da influência das deformações cíclicas sobre o comportamento mecânico das camadas poliméricas externas (HDPE) e interna (LDPE) dos cabos submarinos eletro-ópticos utilizados nas operações Offshore. Numa Bancada de grande porte projetada e fabricada segundo a norma API 17E foi ensaiada a fadiga uma seção de cabo submarino de 108.5 mm de diâmetro exterior e 13.5 m de comprimento. Após de submetida a um determinado número de ciclos de carga, foram retiradas amostras de ambas camadas poliméricas da seção de cabo ensaiado e de outra que não sofreou nenhum tipo de carregamento. A partir das amostras de polímeros tomadas de ambas seções se elaboraram corpos de prova para ensaios de tração segundo a norma ASTM 638. Estes espécimes foram ensaiados à tração e, a partir da análise e comparação dos resultados comprovou-se que o material da camada externa do cabo, HDPE, sofreu variações em seu comportamento mecânico, observou-se uma diminuição brusca na tenacidade do material devida às deformações cíclicas. No material da camada interna, LDPE, não se observou uma variação substancial no seu comportamento mecânico.*

**Palavras-chaves:** polímeros, cabos umbilicais, fadiga, comportamento mecânico, ensaios experimentais.

## **1. INTRODUÇÃO**

Com a descoberta de grandes bacias petrolíferas em águas profundas, um grande esforço tem sido desenvolvido nas ultimas décadas com o fim de incrementar a produção de petróleo e seus derivados. Nesse sentido surgiu a necessidade de desenvolvimento de novas técnicas de Engenharia devido às exigências atuais nas operações de prospecção de hidrocarbonetos do fundo marinho, com o emprego de sistemas flutuantes de produção (plataformas de produção, navios convertidos para o mesmo fim e subsistemas que os compõem, tais como cabos submarinos eletro-ópticos, risers de produção flexíveis e não flexíveis, linhas de ancoragem, etc) o que conduz à necessidade de grandes investimentos em pesquisa e desenvolvimento. Os principais enfoques das pesquisas são a adaptação, inovação e busca de novos equipamentos e tecnologias para tornar mais produtivas e seguras as operações oceânicas.

Os cabos submarinos eletro ópticos (cabos umbilicais), desempenham um papel muito importante neste tipo de atividades, qual seja de transmitir sinais de controle e alimentar com energia elétrica os sistemas de válvulas instalados nas cabeças dos poços petrolíferos no fundo do mar. Os cabos umbilicais usados nos sistemas flutuantes de produção encontram-se submetidos a condições de ambiente marinho, ou seja, às ondas e correntezas do mar que originam deslocamentos laterais das plataformas e à movimentação das linhas ao longo de seu comprimento originando uma combinação de solicitações sobre o cabo tais como: tração, flexão, torção e pressão externa. Tais solicitações podem originar diferentes falhas como: fadiga, fratura tanto das partes metálicas como das poliméricas, assim como envelhecimento das últimas.

Deve-se ressaltar que a falha do cabo umbilical resulta numa consequência desastrosa sob o ponto de vista econômico, devido à paralisação de operações de produção ou perfuração.

## 2. CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E FUNCIONAIS DOS CABOS UMBILICAIS

A estrutura típica de um cabo umbilical, mostrada na Fig. (1), é composta de uma superposição de camadas plásticas e metálicas de caráter estruturais, cabos de cobre, com a função de conduzir energia elétrica, e um cabo de fibra óptica, responsável pela transmissão de sinais. Sua estrutura composta por materiais metálicos e poliméricos, que lhe conferem sustentabilidade e flexibilidade, possibilitando sua fabricação contínua e utilização em instalações de seções muito compridas. A principal vantagem é que eles apresentam maior tolerância ao movimento lateral dos sistemas flutuantes de produção, e a maior desvantagem é a dificuldade de fabricação dos mesmos envolvendo diferentes geometrias e materiais.

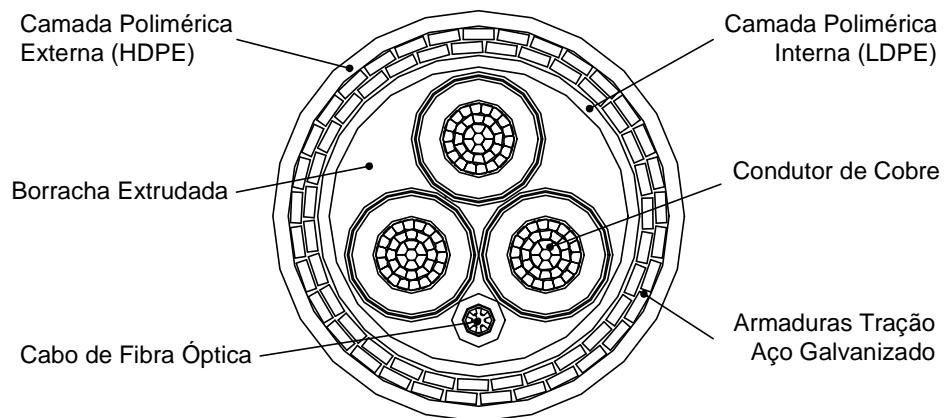


Figura. 1. Estrutura típica de um cabo umbilical

Na estrutura dos cabos umbilicais encontram-se duas camadas poliméricas, as quais têm funções fundamentais no bom funcionamento deles, estas são:

-Camada Plástica Externa- é feita de polietileno de alta densidade (HDPE) normalmente extrudada sobre a armadura de tração externa, proporcionando estanqueidade ao cabo, protegendo a estrutura interna contra danos de corrosão, abrasão, e impacto, e também ajudando a manter os arames da armadura de tração na posição correta;

-Camada Plástica Interna- é feita de polietileno de baixa densidade (LDPE), extrudada sobre o elastômero que atua como isolante e proteção dos condutores de cobre e da fibra óptica. Esta camada é capaz de transmitir os esforços das pressões de contato entre a camada metálica e o elastômero adjacente.

Ambas as camadas devem ter boas características em relação ao envelhecimento, alta resistência ao desgaste, grande elongação antes de atingir à ruptura e boa flexibilidade, já que o prolongado efeito dinâmico a que está submetido o cabo durante sua vida de serviço pode provocar ruptura por fadiga e envelhecimento dos materiais poliméricos que o compõem.

### **3. ENSAIO DE FADIGA DE CABOS UMBILICIAIS**

Para a realização dos ensaios de fadiga empregou-se como guia de referência o esquema da *Figuras I-2 do Appendix I- Fatigue Testing* da norma técnica API-17E.

Os ensaios de fadiga foram realizados numa bancada especialmente projetada e construída para tal, a qual pode-se observar na Fig. (2). Com este ensaio experimental tratou-se de simular os diversos e complexos carregamentos, tais como tração, flexão, torção, etc, a que estão submetidos os cabos umbilicais durante sua instalação e serviço nas operações offshore.

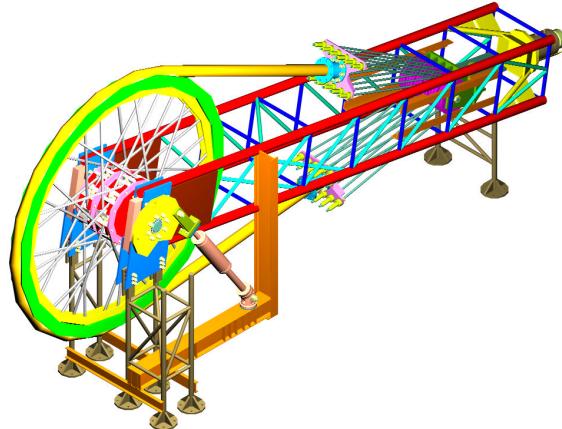


Figura 2. Desenho da bancada para ensaio de fadiga mecânica no cabo umbilical

Como corpo de prova para o ensaio foi empregada um segmento de cabo umbilical de 13,5 m de comprimento; nas suas extremidades foram montadas conexões tipo flange. Em seguida de finalizada a preparação do corpo de prova, este foi montado na bancada de ensaio para sua instrumentação. A instrumentação consistiu na colocação de sensores de deformação na armadura de tração externa do cabo o que foi instrumentado em 8 pontos que estiveram submetidos a diferentes solicitações. Depois da fixação, feita por meio de colagem, fizeram-se testes de verificação de desempenho dos extensômetros e foram realizadas as respectivas soldas. Concluída a fase de solda, testou-se novamente o desempenho do circuito elétrico.

Durante o ensaio de fadiga o corpo de prova foi submetido a um carregamento de tração de 60 toneladas. Em seguida, mantendo-se essa carga, fez-se oscilar a polia (diâmetro externo de 3,5 m) com um movimento alternativo onde foram impostas mudanças de curvatura ao cabo umbilical originando assim esforços e deformações cílicos nas suas diferentes camadas. O cabo, em cada ciclo, flexionava um comprimento de 1,8 m. A duração do ensaio foi de 30000 ciclos, e o período de cada ciclo foi entre 5 e 10 segundos.

Antes e depois de concluir o ensaio, foram efetuadas medições da passagem de corrente elétrica ao longo dos condutores elétricos internos do umbilical.

### **4. ENSAIOS DE TRAÇÃO DE AMOSTRAS DAS CAMADAS POLIMÉRICAS**

A metodologia seguida para a realização dos ensaios de tração feitos neste trabalho fornecida consta da norma ASTM D 638 “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”. Este método de ensaio permite determinar as propriedades de tração em plásticos reforçados e não reforçados, quando testados sob condições pré-definidas de pré-tratamento, temperatura, umidade e velocidade com que é feito o ensaio. Para aplicação neste tipo de estudo, a norma ASTM D 638 estabelece o uso de corpos de prova tipo “Dumbbell-Shaped” do tipo I, o qual se mostra na Fig. (3). Foi escolhido este tipo de corpo de prova já que é o preferível quando os polímeros a serem testados, o polietileno de baixa densidade (LDPE) e o polietileno de alta densidade (HDPE), são

incluídos dentro do grupo dos plásticos semi-rígidos e sua espessura é maior que 1 mm e menor que 7 mm.

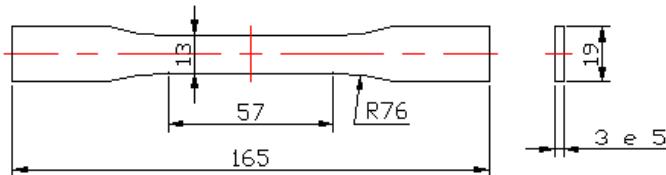


Figura 3. Corpo de prova para ensaio de tração com plásticos segundo a norma ASTM D 638

Na execução dos ensaios à máquina de tração empregada foi do tipo eletromecânica (parafuso) modelo INSTRON TTL-DM-L com capacidade de carga de 10 000 kg/f. A velocidade empregada no ensaio foi de 50 mm/min por ser uma das velocidades (média) entre as três recomendadas pela norma ASTM D 638.

Primeiramente, foram retiradas amostras das duas camadas poliméricas do cabo umbilical a serem ensaiado: a externa de HDPE e a interna de LDPE. Este processo foi feito cuidadosamente com ferramentas manuais para que o aumento da temperatura durante a operação de corte não afetasse as propriedades mecânicas originais do material. As amostras foram retiradas da zona de onde o cabo esteve submetido a carregamentos cíclicos combinadas de tração e flexão durante o ensaio de fadiga prévio. Além disso, também foram retiradas amostras das mesmas camadas poliméricas de um cabo umbilical que não tinha sido submetido a nenhum tipo de carregamento, com o objetivo de verificar a variação das propriedades mecânicas do cabo ensaiado e do que não sofrera nenhum tipo de solicitação.

Depois de preparadas todas as amostras dos materiais a serem ensaiados, e com a ajuda de um gabarito, foram cortados os corpos de prova em uma serra e, em seguida, com uma esmeriladora e papel de esmeril fino foram atingidas as dimensões desejadas, e feito o acabamento final, conseguindo a maior uniformidade possível entre todos os corpos de prova. Suas dimensões ficaram dentro das tolerâncias admitidas pela norma ASTM D 638. Todas as superfícies usinadas dos corpos de prova ficaram livres de defeitos, ranhuras e imperfeições.

Foram confeccionados cinco corpos de prova (quantidade que estabelece a norma) de cada uma das amostras de materiais a serem testadas. Tendo em conta que são duas camadas uma de LDPE e outra de HDPE, além das duas camadas do umbilical, que não foi submetido ao ensaio de fadiga, foram testados quatro lotes de cinco corpos de prova cada um, totalizando vinte corpos de prova.

O ensaio consistiu em se submeter o corpo de prova, Fig. (3), a um esforço de tração ao longo de seu comprimento que tende a esticá-lo originando uma deformação do material na direção da força aplicada. Ao se aplicar a carga, a deformação cresceu continuamente até quase o final do ensaio. Neste estudo, tanto as deformações como os esforços foram medidos por dispositivos acoplados na própria máquina de ensaio e o corpo de prova foi solicitado até a ruptura.

A maioria dos materiais plásticos é afetada por pequenas mudanças de temperatura e umidade relativa. Isto se deve ao fato de que estes tipos de materiais são formados predominantemente por cadeias de átomos de carbono unidos covalentemente. Então, quando se pretende obter resultados comparativos é essencial que os ensaios sejam feitos com valores de temperatura e umidade relativa similares. O local do ensaio foi condicionado com uma temperatura de 24°C e uma umidade relativa de 52 % valores permitível pela norma ASTM D 638.

## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA AS CAMADAS POLIMÉRICAS DO CABO UMBILICAL

Os resultados deste estudo mostraram claramente que as deformações cíclicas a que foi submetida a seção do cabo submarino eletro-óptico tiveram grande influência nas propriedades mecânicas da camada externa do cabo, feita de HDPE, não acontecendo o mesmo na camada

interna, feita de LDPE, que não foi afetado perceptivelmente. Percebeu-se isto depois de analisar e comparar os resultados obtidos nos ensaios de tração dos corpos de prova feitos com as amostras de material polimérico, das seções de cabo, uma seção submetida a deformações cíclicas previamente e outra que não sofrera nenhum tipo de deformação.

Comparando as curvas tensão-deformação obtidas nos ensaios de tração dos corpos de prova confeccionados com as duas amostras de material da camada externa do cabo feita de HDPE, pôde-se observar que o comportamento para ambas é similar na primeira parte da curva até atingir a tensão de escoamento média de 20,32 M Pa com uma deformação média de 22,22 %.

No entanto, quando o material começou a escoar nos corpos de prova feitos com a amostra de polímero que não tinha sido submetido a deformações cíclicas antes do ensaio de tração, a tensão decresceu bruscamente até um valor médio de 13,34 M Pa e uma deformação média de 57 %. A partir desse instante iniciou-se um estrangulamento uniforme na zona de trabalho do corpo de prova (pescoço) originado por uma reorientação nas cadeias poliméricas e apreciando-se um platô na curva tensão deformação, ou seja, mantendo-se uma tensão quase constante nesta parte da curva com tendência a um pequeno aumento, pelo fenômeno de reorientação mencionado anteriormente, até o final do ensaio onde o valor de tensão média foi de 13,58 M Pa com uma deformação de 300%.

O comportamento dos três corpos de prova do lote N°.1 elaborados com a amostra de material da camada externa, HDPE, do cabo que não tinha sido submetido a nenhum tipo de deformação foram muito similares. Na Figura 4 mostram-se as curvas tensão-deformação para os três corpos de provas do lote N°.1, ET 1.1; ET 1.2; ET 1.3, e na Tab. (1) pode-se apreciar os valores de tensão e deformação significativos dos três ensaios com os valores médios de cada um deles.

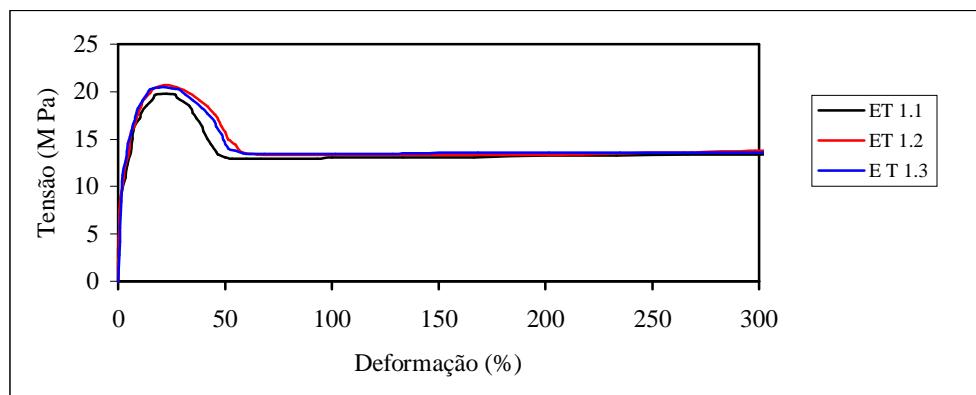


Figura 4. Curva tensão-deformação para os corpos de prova de HDPE, material que não foi submetidos a nenhum tipo de deformação antes dos ensaios de tração

Tabela 1. Valores de tensão e deformação significativos dos ensaios de tração dos corpos de prova de HDPE, material que não foi submetido a nenhum tipo de deformação antes do ensaio de tração

Propriedades Mecânicas	ET 1.1	ET 1.2	ET 1.3	Média	Desv.Padrão
Tensão de Escoamento (M Pa)	15.83	16.31	16.30	16.15	0.274
Deformação de Escoamento (%)	7.00	7.50	6.67	7.06	0.418
Tensão Máxima (M Pa)	19.79	20.66	20.52	20.32	0.467
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	22.50	22.50	21.67	22.22	0.479
Tensão Última (M Pa)	13.37	13.80	13.56	13.58	0.215
Deformação Última (%)	300.00	300.00	300.00	300.00	0.000

Para os corpos de prova do lote N°. 2, confeccionados com HDPE submetido a deformações cíclicas antes de ser ensaiado à tração, no instante depois de ter atingido a tensão de escoamento,

nota-se um decréscimo brusco da tensão e ao mesmo tempo um estrangulamento não uniforme da zona de trabalho do corpo de prova até a ruptura deste com uma deformação média de 59,84 %. Isto devido a uma nucleação de defeitos e micro-poros originados pelos carregamentos cílicos que funcionam como concentradores de tensões, diminuindo marcadamente a tenacidade do material.

Os comportamentos dos corpos de prova do lote N°.2 feitos com o material da camada polimérica externa, HDPE do cabo que tinha sido submetido a deformações cílicas, foram muito similares. Na Figura 5 mostram-se as curvas tensão-deformação para os três corpos de provas do lote N°.2, ET 2.1; ET 2.2; ET 2.3. Na Tabela 2 podem-se apreciar alguns dos valores de tensão e deformação significativos dos três ensaios com os valores médios de cada uns deles.

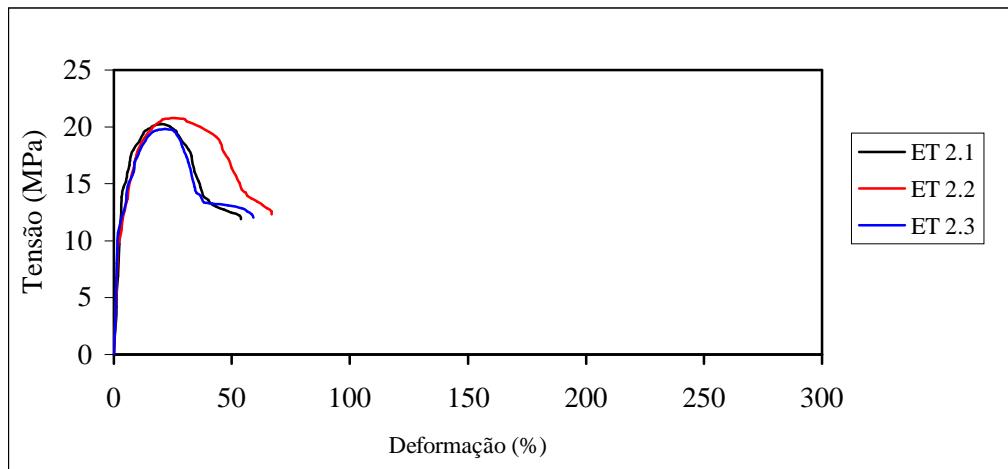


Figura 5. Curva tensão-deformação para os corpos de prova de HDPE, material submetido a deformações cílicas antes dos ensaios de tração

Tabela 2. Valores de tensão e deformação significativos dos ensaios de tração dos corpos de prova de HDPE, material que foi submetido a deformações cílicas antes dos ensaios de tração

Propriedades Mecânicas	ET 2.1	ET 2.2	ET 2.3	Média	Desv.Padrão
Tensão de Escoamento (M Pa)	16.07	15.04	16.07	15.73	0.595
Deformação de Escoamento (%)	5.83	6.67	8.33	6.94	1.272
Tensão Máxima (M Pa)	20.22	20.78	19.82	20.27	0.482
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	20.00	25.83	21.67	22.50	3.002
Tensão Última (M Pa)	11.91	12.31	12.06	12.09	0.202
Deformação Última (%)	53.67	66.67	59.17	59.84	6.526

Na camada interna do cabo umbilical feita de LDPE as deformações cílicas a que foi submetida a seção do cabo não tiveram uma influência perceptível nas suas propriedades mecânicas. Observou-se isto depois da análise e comparação das curvas de tensão-deformação obtidas nos ensaios de tração feitos nos corpos de prova do lote N°. 3, Fig. (6), confeccionados a partir da amostra retirada do cabo que não havia sido submetido a nenhum tipo de deformação prévio e do lote N°.4, Fig (7), feitos a partir da amostra de material da seção do cabo que sofrera deformações cílicas antes do ensaio de tração. Ambos os lotes, N° 3 e 4, tiveram comportamentos mecânicos muito similares durante os ensaios de tração. Isto devido, principalmente, à grande ductilidade do LDPE pelo que as deformações cílicas a que foi submetido o cabo originaram poucas deformações plásticas residuais, o que não provocou uma fragilização marcada da camada polimérica interna do cabo. Nas curvas tensão-deformação observa-se, depois de o material atingir a tensão de escoamento uma reorientação das cadeias poliméricas (platô das curvas) com um comportamento quase constante das tensões até o término do ensaio.

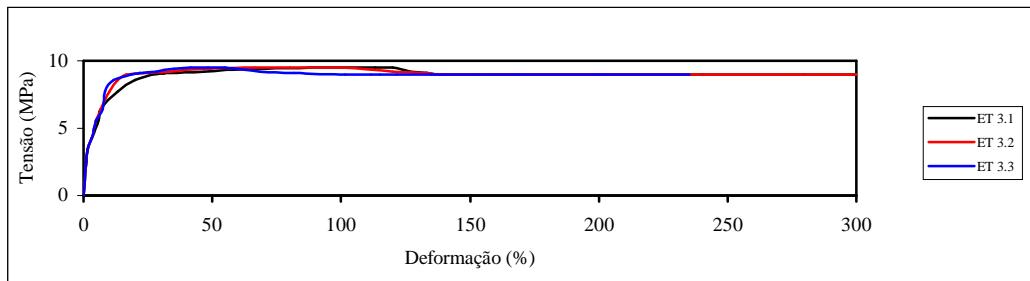


Figura. 6. Curva tensão-deformação para os corpos de prova de LDPE, material que não foi submetido a nenhum tipo de deformação antes dos ensaios de tração

Nas Tabelas 3 e 4 mostram-se valores significativos de tensões e deformações obtidos dos ensaios de tração aos lotes de corpos de prova N°. 3 e 4.

Tabela 3. Valores de tensão e deformação significativos dos ensaios de tração dos corpos de prova de LDPE, material que não foi submetido a nenhum tipo de deformação prévio

Propriedades Mecânicas	ET 3.1	ET 3.2	ET 3.3	Média	Desv.Padrão
Tensão de Escoamento (M Pa)	7.71	7.69	7.51	7.64	0.110
Deformação de Escoamento (%)	13.33	13.33	11.67	12.78	0.958
Tensão Máxima (M Pa)	9.53	9.50	9.72	9.58	0.119
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	100.00	100.00	81.70	93.90	10.566
Tensão Última (M Pa)	8.99	9.05	9.50	9.18	0.279
Deformação Última (%)	300.00	300.00	300.00	300.00	0.000

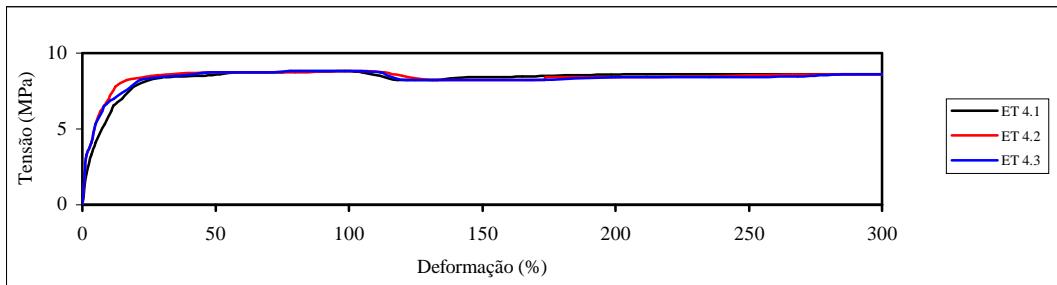


Figura 7. Curva tensão-deformação para os corpos de prova de LDPE, material que foi submetido a deformações cíclicas antes dos ensaios de tração

Tabela 4. Valores de tensão e deformação significativos dos ensaios de tração nos corpos de prova de LDPE, material que foi submetido a deformações cíclicas prévias

Propriedades Mecânicas	ET 4.1	ET 4.2	ET 4.3	Média	Desv.Padrão
Tensão de Escoamento (M Pa)	6.56	7.20	7.25	7.00	0.385
Deformação de Escoamento (%)	11.67	12.50	11.67	11.95	0.479
Tensão Máxima (M Pa)	8.81	9.36	9.38	9.18	0.323
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	78.30	80.00	81.70	80.00	1.700
Tensão Última (M Pa)	8.61	8.88	9.17	8.89	0.280
Deformação Última (%)	300.00	300.00	300.00	300.00	0.000

Nas Tabelas 5 e 6 podem-se apreciar as magnitudes das variações entre os valores médios das tensões e deformações significativas dos ensaios de tração feitos das amostras dos materiais das camada externa e interna do segmento de cabo umbilical que não sofreu nenhum tipo de deformação antecipadamente (Lote N°.1 e 3) e do segmento do cabo umbilical que foi submetida a deformações cíclicas antes dos ensaios de tração (Lote N°.2 e 4).

Tabela 5. Magnitude da variação entre os valores médios das tensões e deformações significativas obtidas nos ensaios de tração da camada externa do cabo

Propriedades Mecânicas	Lote N°. 1	Lote N°. 2	Variação (%)
Tensão de Escoamento (M Pa)	16.15	15.73	2.67
Deformação de Escoamento (%)	7.06	6.94	1.63
Tensão Máxima (M Pa)	20.32	20.27	0.25
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	22.22	22.50	1.24
Tensão Última (M Pa)	13.58	12.09	12.27
Deformação Última (%)	300.00	59.84	401.36

Tabela 6. Magnitude da variação entre os valores médios das tensões e deformações significativas obtidas nos ensaios de tração da camada interna do cabo

Propriedades Mecânicas	Lote N°. 3	Lote N°. 4	Variação (%)
Tensão de Escoamento (M Pa)	7.64	7.00	9.04
Deformação de Escoamento (%)	12.78	11.95	6.95
Tensão Máxima (M Pa)	9.58	9.18	4.36
Deformação quando a Tensão é Máxima (%)	93.90	80.00	17.38
Tensão Última (M Pa)	9.18	8.89	3.30
Deformação Última (%)	300.00	300.00	0.00

Na Figura 8 mostram-se alguns dos corpos de prova após de ensaiados a tração.

- a) Corpo de prova elaborado com a amostra de material da camada externa, HDPE, que foi submetido a deformações cíclicas antes do ensaio de tração.
- b) Corpo de prova elaborado com a amostra de material da camada externa, HDPE, que não sofreu nenhum tipo deformação antes do ensaio de tração.
- c) Corpo de prova elaborado com a amostra de material da camada interna, LDPE.

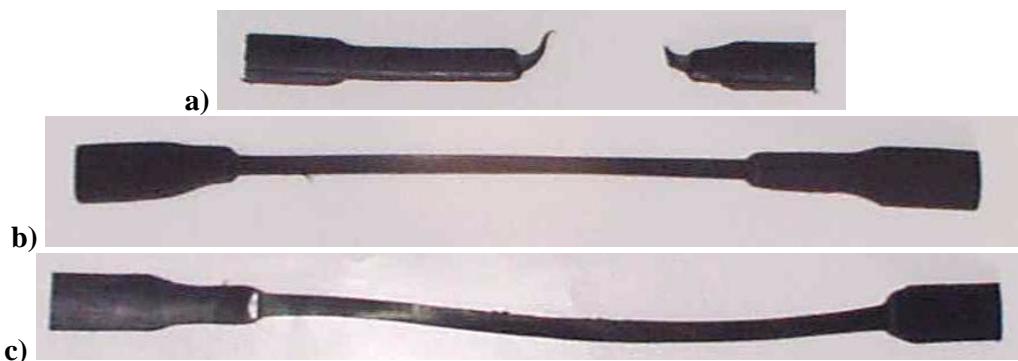


Figura 8. Corpos de prova elaborado com a amostra de material das camadas do cabo após de ensaiados a tração

## **6. CONCLUSÕES**

Depois de finalizado o estudo levantaram-se as seguintes conclusões:

- As deformações cíclicas a que foi submetido o cabo submarino tiveram uma marcada influência nas propriedades mecânicas da camada externa do cabo, HDPE, provocando uma grande diminuição de sua tenacidade. Observou-se isto quando o material começou a escoar. Nos corpos de prova feitos com a amostra de polímero que não fora submetida a deformações cíclicas anteriores ao ensaio de tração, percebeu-se um alongamento de mais de 300 % sem atingir a ruptura. Já os corpos de prova elaborados com o HDPE submetido a deformações cíclicas antes de ser ensaiado a tração, no instante posterior ao escoamento notou-se um decréscimo brusco na tensão a ruptura dos corpos de prova, sendo o alongamento médio no momento da ruptura 59,84 %.

- Na camada interna de LDPE a influência das deformações cíclicas foi imperceptível. Isto pode ser comprovado ao se analisarem as curvas tensão versus deformação para os corpos de prova feito com a amostra de material que sofreu carregamentos cíclicos e os que não sofreram nenhum tipo de carregamento, observando que ambas as curvas são similares.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Brown, R. P., 1988, "Handbook of plastic test methods", 3rd. Ed. Logman Scientific & Technical, London, 442p.
- Bureau, M. N., Dickson, J. I., Denault, J., 1998, "Fatigue Propagation Behavior of Polystyrene/polyethylene blends", J. Of Mater. Sci., England, Vol. 33, No. 6, pp.1405-1419.
- Cárdenas, N. O., 2002, "Análise da influência dos carregamentos cíclicos sobre o comportamento mecânico das camadas poliméricas dos cabos submarinos eletro ópticos", Dissertação apresentada à Escola Politécnica, USP, São Paulo.
- Cárdenas, N. O., Gonçalves, E., 2003, "Mechanical behavior analysis of the high density polyethylene after been submitted to cyclic loading", 17th. International Congress of Mechanical Engineering COBEM 2003,. São Paulo, Brasil.
- Fuku, T. et al., 1992, "Fatigue properties and analysis of flexible risers", Offshore Technology Conference, 24<sup>th</sup>, Houston, Texas, May 4-7, pp. 35-44.
- Kurtz, S. et al., 1998, "The yielding, plastic flow, and fracture behavior of ultra-high molecular weight polyethylene used in total joint replacements", Biomaterials, Vol. 19, p 1998-2003.
- Liu, K., Piggott, R., 1998, "Fracture failure processes in polymers In: Mechanical tests and results", Polym. Eng. Sci., USA, Vol. 38, No.1, pp.60-68.
- Meyer, R. W., Pruitt, L. A., 2001, "The effect of cyclic true strain on the morphology, structure, and relaxation behavior of ultra high molecular weight polyethylene", Polymers, Vol. 42, pp. 5293-5306, Disponível em: <http://www.probe.br/sciedirect.htm> Acesso em 3 abr. 2002.
- Nielsen, L., Landel, R. F., 1994, "Mechanical properties of polymers and composites", 2.ed. M.Dekker, New York, 557p.
- API 17 E. Specification for sub sea production control umbilicals. 2nd ed. API Specification 17 E, 1998.
- ASTM D 638-97. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.

## **8. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# CYCLIC DEFORMATION INFLUENCE ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE POLYMERIC LAYERS OF THE SUBMARINE CABLES

**Nelsón Cárdenas Olivier**

Centro de Estruturas Navais e Oceânicas da Universidade de São Paulo. Brasil.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cid. Universitária, CEP 05508-900, São Paulo Brasil  
Tel- (+11) 3091 5505 e (+11) 3091 5189, Fax- (+11) 3091 4811  
[nolivier@usp.br](mailto:nolivier@usp.br)

**Edison Gonçalves**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cid. Universitária, CEP 05508-900, São Paulo Brasil  
Tel- (+11) 3091 5505 e (+11) 3091 5189, Fax- (+11) 3091 4811  
[edison@usp.br](mailto:edison@usp.br)

## ABSTRACT

The aim of the present work is to evaluate the cyclic deformation influence on the mechanical behavior of the polymeric external (HDPE) and internal (LDPE) layers that conform the optical-power submarine cables, employed in offshore operations. First, in the laboratorial arrangement specially projected and constructed for the experimental work, it was tested a 13,5m long section of a cable with an external diameter of 108 mm, subjected to fatigue loading. After a pre-defined number of load cycles, samples of the external and internal layers were retired from loaded cable. Following the standard ASTM 638, tensile test specimens were machined from the obtained samples, as well as from unloaded samples. After the tensile test, the results analysis showed that the material corresponding to the external layer (HDPE), had suffered changes in its mechanical behavior. It was observed, in this case, an abrupt drop in the material tenacity caused by the cyclic loading. In the internal layer (LDPE) was not observed a significant variation.

**Key-words:** polymers, submarine cables; fatigue; mechanical behavior; experimental tested.