

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CARACTERIZAÇÃO DO ALONGAMENTO E DA ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL EM PEAD SUBMETIDO À SOLICITAÇÃO AXIAL

Doryan Hilton Filgueira Bezerra, doryan@bol.com.br¹
Danyel Ribeiro Araujo, danyelronney@gmail.com¹
Silvio Batista Soares Neto, silvios.eng@gmail.com¹
Moisés Vieira de Melo, moisesvmelo@yahoo.com.br²
Neil de Oliveira Lima Filho, neillima@hotmail.com²
João Telesforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹

¹Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – GET, Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. Caixa Postal 1524 - Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

²Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis – LABCTEX, Departamento de Engenharia Têxtil – DET, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. Caixa Postal 1524 - Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil

Resumo: A indústria do petróleo e gás no estado do Rio Grande do Norte no período 2010- 2014 respondeu por cerca de 40% de toda a produção industrial quantificada pelo VBPI (Valor Bruto da Produção Industrial) estadual. Em Guararé, encontra-se a refinaria Clara Camarão, que processa até 60% dos 58.000 barris diários e mais de dois milhões de m³ de gás extraídos no estado. Para transportar a produção de petróleo e gás produzida nos 16 municípios potiguares até Guararé, a Petrobras necessitou construir cerca de 556 km de oleodutos e 542 km de gasodutos. O desgaste interno dessas tubulações fabricadas em aço carbono é um dos fatores que preocupam a operadora pois os custos de manutenção, principalmente a corretiva, são elevados além do tempo necessário para a parada na produção devido aos reparos requeridos. O PEAD (Polietileno de Alta Densidade), em forma de tubos inseridos nos dutos de aço carbono, foi a solução encontrada para amenizar o desgaste interno dos mesmos. As vantagens para a indústria petrolífera são diversas como a amenização da corrosão e abrasão, pressão de operação tão alta como a do duto de aço carbono, vida útil superior a 15 anos, instalação do sistema de tubos com um mínimo de modificações, maior proteção do meio ambiente ao evitar vazamentos por corrosão, economia através do incremento na vida do duto (mais de 75% da vida útil), não são afetadas as propriedades do fluido além de eliminação de tratamentos anticorrosivos. O objetivo do presente trabalho é investigar o comportamento do material PEAD diante de um ângulo não convencional por meio de um comparativo direto de uma zona termicamente afetada não tracionada, com a área de mesma constituição após ensaio de tração e consequente ruptura. Para a tração uniaxial foi usado um ângulo não convencional de 75 graus. As amostras de PEAD com cordão de solda feito através do processo de termofusão e sem cordão de solda, seguem os parâmetros de fabricação ditados pela norma ASTM F2136-08 e foram caracterizadas utilizando-se de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura) e EDS (Espectroscopia por Dispersão de Energia). Observou-se que a área submetida a tração e consequente ruptura, apresentou aspectos morfológicos bastante distintos de área similar com cordão de solda, porém não tracionada. Valores maiores, registrados durante os ensaios de tração, da tensão máxima e da deformação, imediatamente antes do rompimento ou ruptura propriamente dita, influenciaram na morfologia resultante observada ao final destes ensaios.

Palavras-chave: caracterização, PEAD, TERMOFUSÃO.

1. INTRODUÇÃO

Segundo (Canevarolo Jr., 2004), ao longo do processo de popularização do uso de polímeros sintéticos pela sociedade – fato que ocorreu após a Segunda Guerra Mundial – surgiram as primeiras questões sobre a estrutura, composição, avaliação e durabilidade desses então novos materiais. Nas décadas de 1950 e 1960 não havia muita experiência acumulada na realização de testes em polímeros e adaptações de ensaios destrutivos, tradicionalmente

aplicados a materiais metálicos, foram utilizados nos polímeros sintéticos nem sempre obtendo resultados completos e satisfatórios. Já nos anos entre 1970 e 1980, a caracterização dos polímeros foi impulsionada com as técnicas de termogravimetria específicas para os materiais poliméricos. Nos últimos 25 anos, a diversificação do uso dos plásticos de engenharia, dos elastômeros técnicos e das resinas de alta performance em aplicações de ponta, impulsionaram o processo de caracterização de polímeros que experimentou um grande avanço, suportado pela evolução das técnicas de microscopia, espectroscopia e ressonância magnética nuclear.

Nesta pesquisa promoveu-se a caracterização de PEAD submetido a um ensaio uniaxial de tração, num ângulo não convencional de 75 graus, através do uso de MEV e do EDS. A Microscopia Eletrônica de Varredura é capaz de produzir imagens de alta resolução da superfície de uma amostra. Devido a maneira com que as imagens são criadas, imagens de MEV tem uma aparência tridimensional característica e são úteis para avaliar a estrutura superficial de uma dada amostra. É uma importante técnica para determinar tamanho e forma de estruturas cristalinas e amorfas. Já a espectroscopia de energia dispersiva - EDS permite além da identificação mineral, o mapeamento da distribuição de elementos por minerais, gerando mapas composicionais de elementos desejados. Sendo assim, utilizando-se de um dispositivo de Arcan para o ensaio de tração axial, num ângulo não convencional de 75 graus, esta pesquisa segue a moderna linha de caracterização dos corpos de prova, com e sem cordão de solda, submetidos à tração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O material PEAD foi obtido comercialmente na Termoplástico Belfano com as características técnicas elencadas na Tab. 1. Na aplicação real, a empresa LCB do Brasil, que gentilmente cedeu as amostras para o estudo, executou as termofusões conforme procedimento específico estabelecido pela fabricante de máquinas de termofusão Rothenberger conforme mostradas na Tab.2. As termofusões foram realizadas na área do campo de produção Canto do Amaro, distante cerca de 25 km da cidade de Mossoró - RN.

Tabela 1. Características de fabricação dos tubos em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) segundo dados fornecidos pela empresa Termoplásticos Belfano.

Material: PEAD			
Produto: TUBO PEAD - 80 LINER EXPANDIDO DE 362 x 9,5 mm			
CARACTERÍSTICAS DE CONTROLE	MÉTODO UTILIZADO	ESPECIFICAÇÕES	RESULTADOS OBTIDOS
ENSAIOS DIMENSIONAIS			
Espessura Mínima	Liner Coating	9,5 - 0,5mm	9,05 mm
Espessura Máxima		9,5 + 0,5 mm	10,00 mm
Diâmetro Externo Médio		362 + 1,0 - 1,0 mm	361,85 - 362,91mm
Ovalização Máxima	ABNT NBR 14301	12,4 mm	7,00 mm
Desvio de Perpendicularidade Máxima		7,0 mm	1,53mm
Comprimento Mínimo		12000 mm	12018 mm
ENSAIOS FÍSICO / QUÍMICOS			
Densidade por Deslocamento de Matéria Prima	ISO 1183 - 1	≥ 0,93 g/cm³ tubos pretos	0,949 g/cm³
		> 0,930 g/cm³ tubos não pretos	
Teor de Negro de Fumo da Matéria Prima	ABNT NBR 9058	2,5 0,5%	2,10%
Densidade por Deslocamento	ISO 1183-1	≥ 0,938 g/cm³ tubos pretos	0,952 g/cm³
		> 0,930 g/cm³ tubos não pretos	
Alongamento da Ruptura	ABPE/M004	Mínimo 350,00 %	546,00%
Tensão no Limite de Escoamento		Mínimo 15 MPa	20.85 Mpa

Conforme (Danieletto, 2007), o método de solda de topo por termofusão(Butt Fusion) é a forma mais tradicional, e utilizada, de soldagem de tubos para unir as peças de tubulação, formando assim, um tramo de tubos, ou "varas", que serão inseridas nas tubulações de aço carbono, com distintas metragens conforme o caso, na construção ou reabilitação de infraestruturas enterradas, como aquedutos, rede de esgotos, oleodutos e gasodutos.

A termofusão é um processo que interfere na cadeia polimérica promovendo um rearranjo estrutural que afeta as propriedades natas do PEAD e, segue sempre o seguinte princípio: eleva-se a temperatura do material das peças a serem soldadas até a sua fusão, comprimi-se as partes fundidas, uma contra a outra, tal que promova-se a interação molecular dos materiais fundidos e, mantendo esta pressão, resfriam-se naturalmente os materiais até a sua

recristalização. Sendo assim, o PEAD ao resfriar, tende a se cristalizar, porém esta cristalização não é feita de forma perfeita e completa. A matéria que se esfriou no estado amorfo permanece entre os chamados cristalitos, que são cristais imperfeitos ou paracristais.

(Danieletto, 2007), afirma que a parte cristalina apresenta maior densidade e é dela que depende a resistência do material; do balanço dessas características decorrem as aplicações correspondentes. A cristalização dos polímeros é dificultada pelas ramificações e quanto maior o grau de ramificação da macromolécula, maior a cristalinidade e, em consequência, maior densidade, rigidez, resistência mecânica, térmica e a solventes. No aparecimento dos chamados esferólitos, que são cristalinos associados formando grandes agregados ordenados tridimensionalmente, há uma majoração da resistência mecânica, a qual se dá por um arranjo ordenado de cristalitos, de maneira a orienta-los na mesma direção obtendo-se uma maior interferência entre os mesmos. Nesse contexto, deve-se levar em consideração que uma maior orientação em uma direção significa, geralmente, numa diminuição da resistência nas direções perpendiculares à mesma. O aquecimento do material tende a provocar uma diminuição da cristalinidade do mesmo e, por conseguinte, uma diminuição de sua resistência e um aumento da flexibilidade e transparência.

Tabela 2. Procedimento técnico recomendado na termofusão, para a união dos tubos de PEAD em aplicação de campo, conforme recomendações de uma empresa fabricante da máquina de termofusão Rothenberger.

PLANO GERAL DA JUNTA	MATERIAL BASE
TIPO DE JUNTA: TOPO DESALINHAMENTO: 0 mm FRESTA: 0 NORMA DE REF.: DIN 8077, DIN 16963, DIN 16962	ESPECIFICAÇÃO: PE80 DIÂMETRO: 362 mm ESPESSURA: 9,5 mm
AQUECIMENTO	PRESSÃO
TEMP. DETERMINADA: 213 °C TEMP. PÓS-ESTABILIZAÇÃO: 213 °C	PRESSÃO DE FACEAMENTO: 13 Kg/cm² PRESSÃO DE SIMPLES CONTATO: 0 Kg/cm² PRESSÃO DE FUSÃO: 13 Kg/cm² + PRESSÃO DE ARRASTE
TEMPOS	FORMAÇÃO DO CORDÃO DE SOLDA
TEMPO DE ESTAB. DA PLACA DE AQUECIMENTO: 20 min TEMPO DE PRÉ-AQUECIMENTO: 5 s TEMPO DE AQUECIMENTO: 109 s TEMPO DE RETIRADA DA PLACA DE AQUECIMENTO: 15 s TEMPO PARA ELEVAR A PRESSÃO À PRESSÃO DE SOLDA: 5 s TEMPO DE RESFRIAMENTO: 20 s	POROSIDADE: AUSÊNCIA DE POROSIDADE MICROFISSURAS: AUSÊNCIA DE MICROFISSURAS ALTURA DO CORDÃO DE SOLDA: 2 mm
FIO DA SOLDA	
CONTINUIDADE DO FIO: PRESENTE LARGURA DO FIO: 1,5 mm ESPAÇOS VAZIOS: AUSÊNCIA DE ESPAÇOS VAZIOS MICROFISSURAS: AUSÊNCIA DE MICROFISSURAS	

2.2 Preparação dos corpos de prova

Utilizou-se uma fresadora CNC, para a usinagem dos corpos de prova, Fig. (1). A velocidade de avanço foi de 20mm/min e a frequência de 90Hz. As amostras, Fig. (2), foram confeccionadas seguindo o mesmo programa, buscando-se assim, dimensões análogas, uma vez que a espessura do tubo, de 9,5mm, influencia diretamente os resultados nos ensaios de tração.



Figura 1. Usinagem das amostras com fresadora CNC.

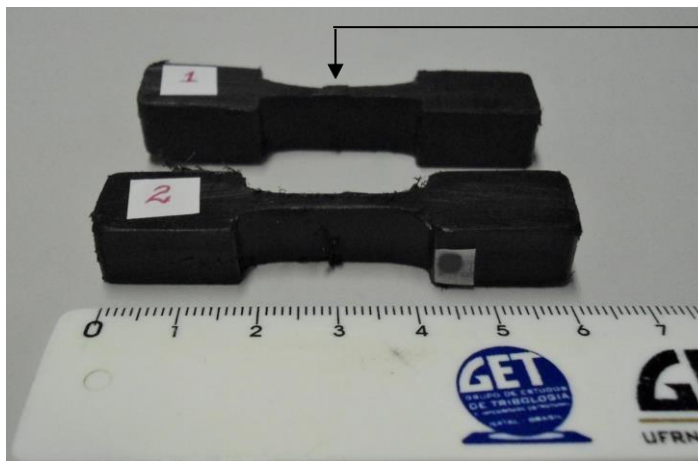


Figura 2. Corpos de prova em PEAD (1) Com cordão de solda, (2) Sem cordão de solda.

Cordão de solda

Os corpos de prova em PEAD, com e sem cordão de solda, foram confeccionados conforme os parâmetros definidos pela norma ASTM F2136-08, conforme Fig. (3).

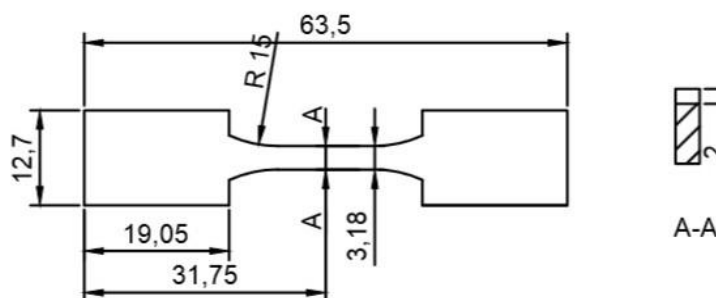


Figura 3. Desenho do corpo de prova para ensaio de tração de acordo com a Norma ASTM F2136-08.

2.3 Ensaio de tração e caracterização dos corpos de prova após tracionados

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração, uniaxial, em um ângulo não convencional de 75 graus, no equipamento Tensolab 3000 Mesdian, com velocidades de tração de 500 e 200 mm/ minuto. Para garantir uma melhor fixação dos corpos de prova foram confeccionadas placas de fixação nas quais são encaixados os mesmos, Fig. (4). O conjunto formado é então aparafusado no dispositivo de Arcan desenvolvido. Fig.(5).



Figura 4. Placas de fixação do Corpo de Prova.

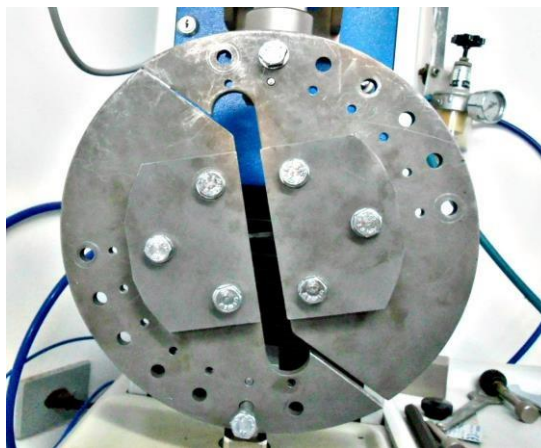


Figura 5. Corpo de prova no dispositivo de Arcan fixado em máquina de tração Tensolan Mesdian para ensaio de tração em um ângulo de 75 graus.

Após os ensaios de tração, as amostras foram caracterizadas utilizando-se microscopia eletrônica de varredura (MEV) e micro-análise química por EDS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios de tração

Para realizar o ensaio de tração axial, num ângulo não convencional de 75 graus, foi confeccionado um dispositivo de Arcan adaptado especificamente para o corpo de prova em PEAD. A máquina de tração Tensolan Mesdian forneceu originalmente gráficos Tensão x Alongamento, além dos pontos em coordenadas, para cada um dos sete ensaios realizados com esta angulação. Foi usado também software apropriado para o "cruzamento dos dados" dos sete ensaios que resultaram no gráfico abaixo exposto, Fig. (6).

Foram destacados os pontos coincidentes dos sete ensaios, levando-se em conta o desvio padrão, visualizando-se os comportamentos dos corpos de prova com material contínuo e com cordão de solda. Nota-se, no caso do corpo de prova com cordão de solda, uma maior resistência impactando diretamente numa maior deformação antes da ruptura do mesmo, ou seja, tornou-se mais viscoelástico. Por outro lado, observa-se, no caso do corpo de prova com material contínuo, uma maior resistência à tração, aliada a uma deformação inferior - assim, sob tensão de 10MPa, o PEAD soldado distendeu-se o dobro relativamente ao material original, sem solda.

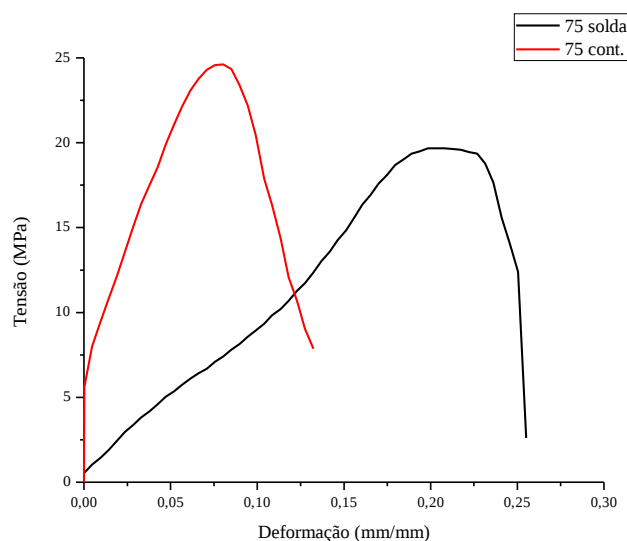


Figura 6. Gráfico de Tensão x Deformação

3.2 Caracterização dos corpos de prova antes do ensaio de tração

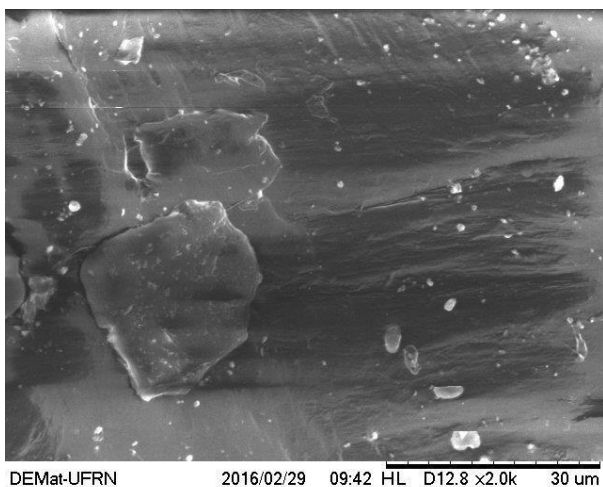


Imagem MEV 01
Cordão de solda antes da tração, 2000x

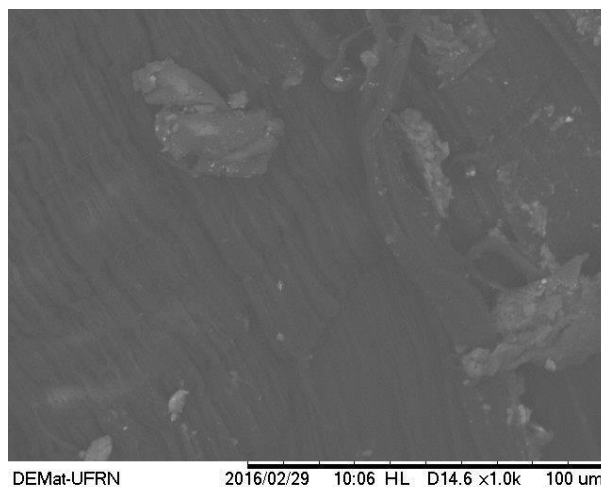


Imagem MEV 02
PEAD sem cordão de solda , 1000x



Figura 7. Corpos de prova em PEAD: (1) virgem, (2) com cordão de solda após ensaio de tração (3) sem cordão de solda após ensaio de tração.

3.3 Caracterização dos corpos de prova após do ensaio de tração

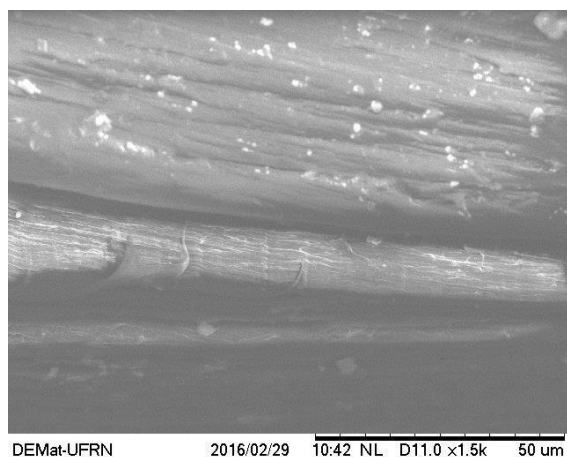


Imagem MEV 03 área "alongada" do cordão de solda, 1000x

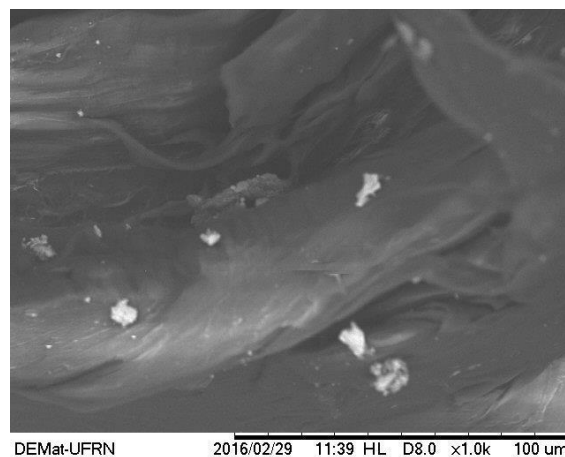


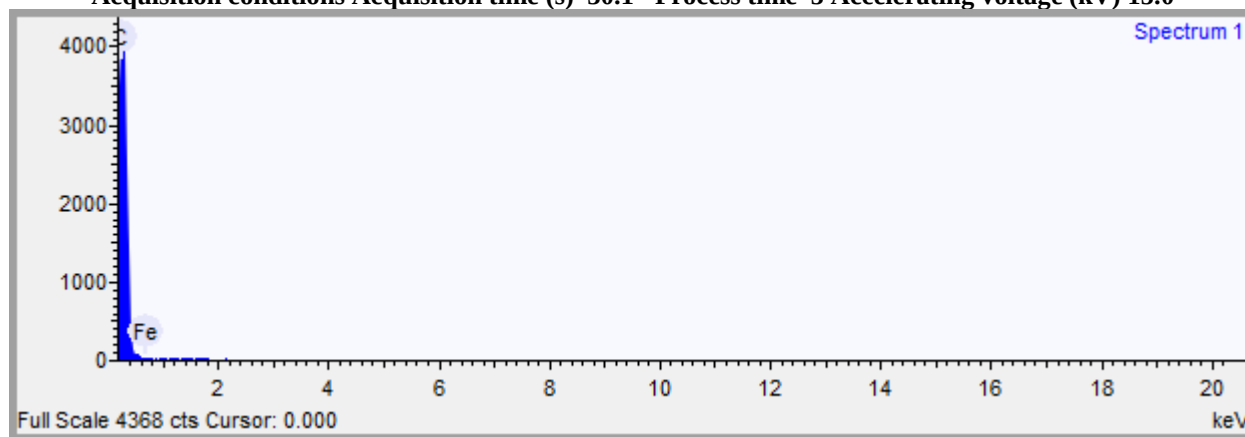
Imagem MEV 04 área de ruptura do PEAD, 1000x

3.4 - Espectroscopia de energia dispersiva - EDS

Electron Image
Image Width: 107.8 μm



Acquisition conditions Acquisition time (s) 30.1 Process time 5 Accelerating voltage (kV) 15.0



Summary results

Element	Weight %	Weight % σ	Atomic %
Carbon	99.330	0.137	99.855
Iron	0.670	0.137	0.145

4. CONCLUSÃO

4.1 - Feitos os ensaios de tração, em corpos de prova baseados na norma ASTM F2136-08 e em ângulo de 75 graus, as rupturas dos mesmos ocorreram justamente no sentido de propagação do corte recomendado pela norma, este feito em sentido perpendicular ao corpo de prova. Este resultado possibilitou uma análise comparativa direta entre a área termofusionada e uma área com material contínuo, ou seja, sem a termofusão;

4.2 - Analisando o gráfico Tensão x Deformação observamos que sob tensão de tração de 10MPa, o PEAD soldado distendeu-se o dobro relativamente ao material original, sem solda;

4.3 - A Imagem MEV 01 do PEAD, com o cordão de solda e antes do ensaio de tração, apresenta a estrutura de um termoplástico semicristalino que sofreu maior contração ao ser esfriado, por causa do empacotamento das regiões cristalinas do polímero;

4.4 - A Imagem MEV 02 do PEAD, sem o cordão de solda e antes do ensaio de tração, apresentou uma estrutura linear semicristalina, com ramificações curtas típicas e com densidade de $0,952 \text{ g/cm}^3$ conforme Tab. 1;

4.5 - A Imagens MEV 03 e MEV 04 do PEAD, com cordão de solda e após o ensaio de tração, apresentaram área submetida ao alongamento e estrutura polimérica colapsada. O EDS, após análises repetidas, somente apresentou percentuais significativos de carbono e ferro;

5. REFERÊNCIAS

ANTUNES, D. M.; INFANTE, V.; REIS, A. Experimental Adhesive Failure Criteria for Analysis of Aerospace

Structures. Procedia Engineering, v. 114, p. 416–421, 2015. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815017269>>. Acesso em: 6/4/2016.

CANEVAROLO JR., SEBASTIÃO VICENTE, ed 2004

Técnicas de caracterização de polímeros

DANIELETO, JOSÉ ROBERTO B.

Manual de tubulações de polietileno e polipropileno : característica, dimensionamento e instalação. ed. 2007

EL-BAGORY TAREK, M.A.A., SALLAM HOSSAM, E.M. AND YOUNAN MAHER, Y.A., 2014, “Effect of strain rate, thickness, welding on the J-R curve for polyethylene pipe materials”, International Journal of Plasticity, Vol. 74, pp. 164-180.

HACHOUR, K., ZAÏRI, F., NAÏT-ABDELAZIZ, M., GLOAGUEN, J.M., ABERKANE, M. AND LEFEBVRE, J.M., 2014, “ Experiments and modeling of high-crystalline polyethylene yielding under diferente stress states”, International Journal of Plasticity, Vol. 54, pp. 1-4.

STANDARD TEST METHOD FOR NOTCHED, CONSTANT LIGAMENT-STRESS (NCLS) TEST TO DETERMINE SLOW-CRACK-GROWTH RESISTANCE OF HDPE RESINS OR HDPE CORRUGATED PIPE . ASTM F2136-8

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

DESCRIPTION OF THE STRETCH AND AREA CROSS SECTION IN HDPE SUBMITTED TO REQUEST AXIAL

Doryan Hilton Filgueira Bezerra, doryan@bol.com.br¹
Danyel Ribeiro Araujo, danyelronney@gmail.com¹
Silvio Batista Soares Neto, silvios.eng@gmail.com¹
Moisés Vieira de Melo, moisesvmelo@yahoo.com.br²
Neil de Oliveira Lima Filho, neillima@hotmail.com²
João Telesforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹
The authors are solely responsible for the content of this work

¹Group Of Tribology Studies and Structural Integrity – GET, Mechanical Enginnering Department – DEM, Federal University of RN - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. P.O. 1524 – University Campus - Lagoa Nova, ZIP 59072-970, Natal-RN, Brazil.

²Laboratory of Textile Materials Characterization – LABCTEX, Textile Engineering Department – DET, Federal University of RN - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. P.O. 1524 – University Campus - Lagoa Nova, ZIP 59072-970, Natal-RN, Brazil.

Abstract.. The oil and gas industry in the state of Rio Grande do Norte has a strong participation in the Gross Value of Industrial Production - State VBPI coming to account for about 40% of all industrial production. In Guimarães is the refinery Clara shrimp, which approximately 60% of processing 58,000 barrels per day and more than two million m³ of gas extracted in the state. The need to transport oil and gas production, all 16 municipalities to producers Guimarães led to state oil company Petrobras to build about 556 km of pipelines and 542 km of pipelines. The internal wear these pipes made of carbon steel, it is one of the factors of concern to the operator because the maintenance costs, mainly corrective, are elevated beyond time required for the "production stop" for the required repairs. HDPE in the form of tubes inserted in carbon steel products was the solution found to minimize internal wear them. The advantages for the oil industry are many and alleviation of corrosion and abrasion operating pressure as high as the carbon steel pipe, shelf life exceeding 15 years pipe system of the installation with minimal modifications, greater protection environment to prevent corrosion leaks economy by increasing the product's life (more than 75% of life), are not the fluid properties affected in addition to the elimination of anti-corrosion treatments. The objective of this study is to investigate the behavior of HDPE materials before an unconventional angle by means of a direct comparison of a heat affected zone not tensioned, with the area of the same constitution after tensile test and subsequent rupture. For uniaxial tension was used an unconventional angle of 75 degrees. The samples of HDPE with and without weld bead done by hot melt process, following the manufacture of the parameters dictated by ASTM F2136-08 and were characterized using SEM and EDS. It was observed that the area subjected to traction and consequent rupture showed morphology quite different area with similar weld bead, but is not tensioned. Larger values recorded during the tensile test, the maximum stress and deformation immediately before breakage or interruption itself, influence on the resulting morphology observed at the end of these tests.

Keywords: characterization, HDPE, thermal fusion .