

DESGASTE ABRASIVO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS UTILIZADOS NA PROTEÇÃO DE LINHAS FLEXÍVEIS DE CONDUÇÃO DE PETRÓLEO

Francisco Francelino Ramos Neto

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
francisco@mecanica.ufu.br

Luiz Antônio Sulino de Negreiros

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
lasulino@yahoo.com.br

Sinésio Domingues Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG.
ltm-sdfranco@ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Cenpes – RJ
mtpp@cenpes.petrobras.com.br

Resumo: Na condução de petróleo em águas profundas são utilizadas linhas de dutos flexíveis que, pelo fato de estarem inseridas em um ambiente muito corrosivo, têm seus elementos metálicos protegidos por materiais poliméricos. Estes revestimentos são caracterizados por sua alta inércia química, além de permitir a flexibilidade necessária à estrutura. No entanto, devido à ação abrasiva muito severa encontrada em algumas regiões do ambiente marinho, estes revestimentos acabam por perderem suas funções devido ao desgaste. Para avaliar o desempenho, tanto de materiais atualmente aplicados, como de outros com potencial aplicação para este fim, foram realizados ensaios abrasométricos do tipo pino-sobre-cilindro. Para a realização dos ensaios foi desenvolvido um equipamento segundo a norma DIN 53.516. Os ensaios de desgaste foram realizados em ambiente submerso em água nas temperaturas de 4, 25 e 40°C e cargas normais de 5, 10 e 15 N. Adicionalmente, foram medidas as durezas Shore-D dos materiais. Foram testados nove materiais sendo uma poliamida, três borrachas, dois polietilenos e três poliuretanos.

A avaliação do desgaste foi feita através do método gravimétrico interrompido, sendo a medição de massa realizada em uma balança de 10^{-5} g de resolução. Os mecanismos de desgaste foram caracterizados através de microscopia eletrônica de varredura. Além disso, foram realizados ensaios de degradação induzida em câmara hiperbárica contendo água do mar. Após cada um dos sete períodos compreendidos entre 125 dias de exposição, as amostras foram submetidas a ensaios de desgaste. Os resultados mostraram que os poliuretanos testados possuem uma resistência ao desgaste abrasivo notavelmente superior aos outros materiais e que, sob as condições de carga usadas, a temperatura possui pouca influência na perda de volume. A resistência ao desgaste também não sofreu alteração após os ensaios de degradação induzida. Além disso, os resultados de dureza, não mostraram nenhuma correlação clara com os resultados de desgaste.

Palavras-chave: Desgaste abrasivo, polímeros, linhas flexíveis, hidrólise, águas profundas

1. INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo é um dos setores com maior número de sistemas produtivos empregando alta tecnologia. O Brasil tem destaque mundial no que tange a extração de petróleo, sobretudo em águas profundas e ultra-profundas. Muito dos esforços atuais são despendidos na manutenção dos atuais sistemas e no desenvolvimento de tecnologias.

Dentro da cadeia produtiva, grande parte do petróleo e gás produzidos é escoada através de dutos flexíveis que interligam os poços de extração às plataformas ou navios. Uma das grandes vantagens da utilização destas tubulações flexíveis na extração de petróleo em águas profundas é facilidade de seu lançamento e acomodação no leito marinho. Atualmente, linhas flexíveis são instaladas em profundidades que atingem 1.500 metros, algumas delas com comprimento total superior a 10 quilômetros (Barbosa *et al.*, 2002).

Estes dutos além de transportarem óleo e gás dos poços, também fazem transporte de outros produtos indispensáveis no processo de extração e, sendo assim, componentes de fundamental importância dentro da cadeia produtiva do petróleo.

Os diversos segmentos destas linhas recebem diferentes denominações de acordo com seu local de aplicação (Figura 1): se estão apoiadas no fundo do mar são chamadas de *flow lines*; quando se elevam do fundo do mar em direção à plataforma ou navio passam a ser chamadas de *risers* e a região de interface dos dois é chamada de TDP (*Touch Down Point*).

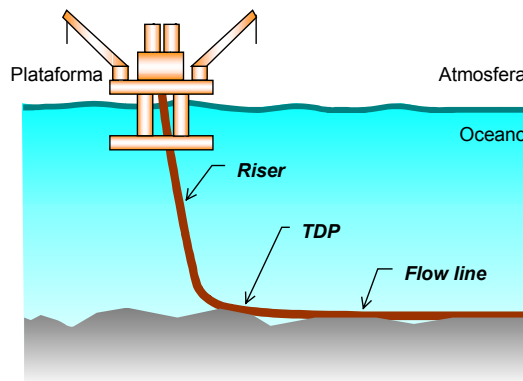


Figura 1 – Localização das diversas regiões características das linhas flexíveis usadas em um sistema de produção flutuante

Foi constatado que as linhas flexíveis, ao tocarem o fundo do mar, experimentam um processo de degradação via desgaste. Esse desgaste é mais acentuado na região de TDP. Isso deve-se, basicamente, aos carregamentos dinâmicos externos sofridos pela linha levando a uma movimentação relativa do duto e a superfície do fundo do mar. Assim, a camada mais externa da linha passa a ter uma nova função que é a de resistir ao desgaste nestas condições, já bastante críticas.

Inspeções realizadas com veículos operados remotamente, (*Remote Operated Vehicle – ROV*), evidenciaram que a contínua movimentação dessas linhas pode levar à escavação de valas na camada de depósitos do fundo do mar (Figura 2-a) mostrando assim, que a condição abrasiva oferecida a estas tubulações é, de fato, bastante severa. Consequentemente, o risco de falha aumenta, podendo haver vazamentos, parada de produção e graves danos ambientais (Figura 2-c e d).

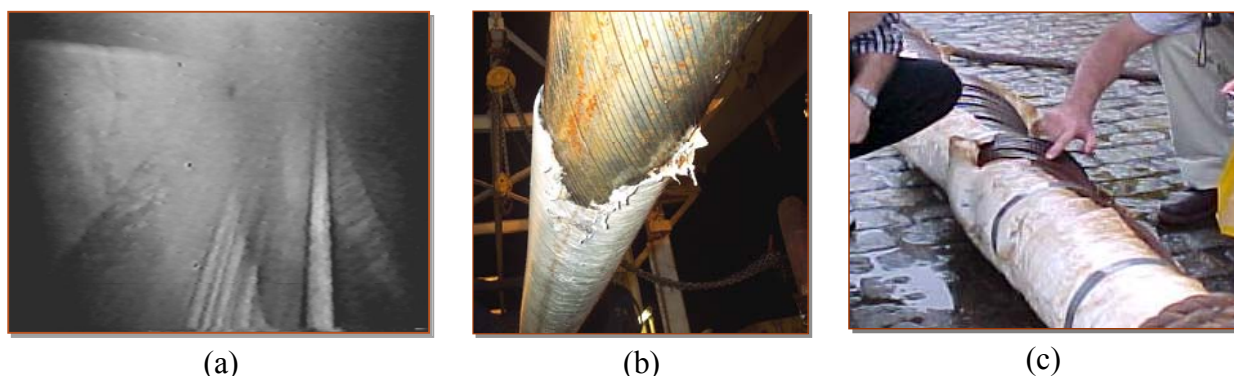


Figura 2 – Degradação das linhas flexíveis: (a) linha flexível submetida à condição severa de desgaste no fundo do mar, (b) perda total do revestimento polimérico externo e (c) falha da estrutura metálica devido à corrosão

Atualmente, para reduzir esse problema, as linhas flexíveis vêm sendo revestidas externamente com materiais poliméricos sob a forma de luvas bipartidas aplicadas na região próxima do TDP. Não obstante, os custos globais da aplicação destes revestimentos, tanto pelo custo dos materiais usados quanto pelo complexo procedimento de sua aplicação, que são muito elevados. Além disso, dado o fato das linhas flexíveis estarem inseridas em um ambiente aquático marinho, há a possibilidade de que, alguns dos materiais poliméricos, venham sofrer algum dano estrutural devido à presença da água como agente hidrolisante, sobretudo na condição de alta pressão hidrostática experimentada em altas profundidades. Assim, a hidrólise, fenômeno de despolimerização resultante da reação química entre íons da água no estado líquido ou gasoso (vapor) e as extremidades livres das cadeias de polímeros, pode levar alguns materiais poliméricos à falha estrutural.

O presente trabalho teve, como objetivo principal, a caracterização dos mecanismos de falha do revestimento polimérico das linhas em função do desgaste sofrido contra a camada de detritos no fundo do mar. Em laboratório, procurou-se reproduzir, sob diversas condições de carga, temperatura e nível de degradação induzida, os mecanismos de desgaste observados nos revestimentos de linhas após longo período de trabalho.

Desta forma, visou-se a avaliação do desempenho ao desgaste abrasivo tanto de materiais atualmente aplicados, como de outros com potenciais de aplicação em revestimentos das linhas flexíveis.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

As linhas flexíveis, de onde foram extraídos os revestimentos, foram subtraídas da região de *Touch Down Point* (TDP) de uma linha de injeção de água localizada a 913 m de profundidade após 40 meses de operação. O revestimento de poliamida (PA11) das linhas foi extraído das linhas e disponibilizado sob a forma de segmentos de onde foram retiradas as amostras de caracterização do desgaste.

Com o objetivo de simular os eventos de desgastes observados nos revestimentos, foram escolhidos alguns materiais que são atualmente aplicados, ou com potencial aplicação em revestimentos das linhas flexíveis. No total, foram usados oito materiais: três tipos de borracha, uma poliamida, dois tipos de polietilenos e três tipos de poliuretanos.

A dureza dos materiais analisados foi medida através de ensaios do tipo Shore D. O equipamento usado foi o Woltest MP-2. Os testes foram efetuados sob as mesmas temperaturas dos ensaios de desgaste (4, 25, e 40°C).

O desempenho dos materiais poliméricos foi avaliado através de ensaios de desgaste realizados em um abrasômetro do tipo pino-sobre-cilindro normatizado pela DIN 53.516. O equipamento foi especialmente desenvolvido e construído no Laboratório de Tribologia e Materiais para este fim. Assim, considerando que as propriedades dos polímeros são fortemente influenciadas pela temperatura de trabalho (Uchiyama *et al.*, 1993 e Crane *et al.*, 1997) e que a temperatura no fundo do mar é de cerca de 4°C, o equipamento desenvolvido é capaz de realizar ensaios segundo a norma e, com adicional habilidade de variação da temperatura de teste.

O princípio de funcionamento do equipamento segundo a norma é apresentado através da Figura 3-a e b. Basicamente, o equipamento consiste de um cilindro que gira com uma velocidade constante. Sobre esse cilindro é aplicada uma lixa abrasiva. Durante o ensaio, a amostra é pressionada contra essa lixa e movimentada por um determinado percurso.

Na retirada das amostras, o paralelismo entre as faces foi assegurado através da retificação das faces opostas da amostra de teste. Para a retirada das amostras na forma cilíndrica foi desenvolvida uma ferramenta cuja geometria também é sugerida pela norma DIN 53.516 (Figura 3-c). A seguir, essas amostras foram limpas utilizando-se álcool etílico em ultra-som durante 10 minutos. A secagem foi realizada com um secador de ar aquecido e a desumidificação completa em uma estufa a 70°C por duas horas para todas as amostras. O tempo de desumidificação foi levantado através de método experimental.

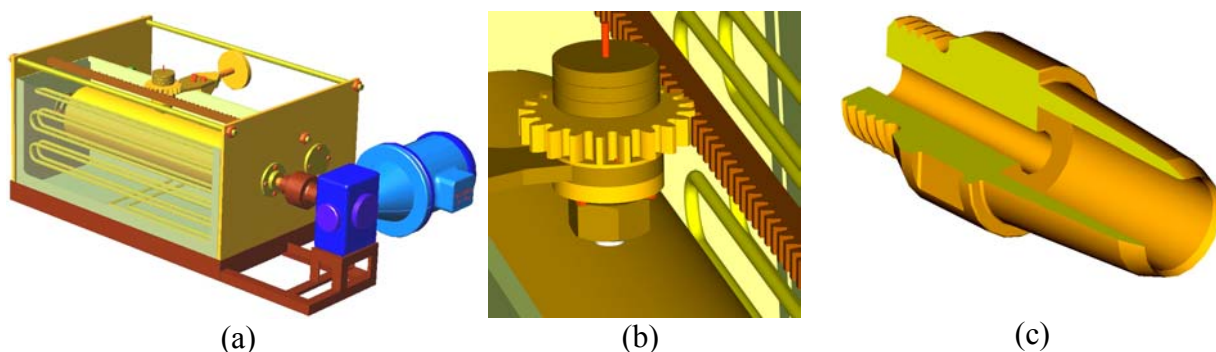


Figura 3 – Aparato desenvolvido para o ensaio de desgaste: (a) abrasômetro, (b) detalhe do sistema de aplicação de carga e (c) ferramenta de retirada das amostras

A quantificação do desgaste no ensaio foi obtida pelo método gravimétrico interrompido sendo que a medição de massa dada por balança digital com resolução de 10E-5 g. Os resultados são apresentados sob a forma de perda de volume das amostras. Durante todo o ensaio, as amostras permaneceram submersas em água a uma dada temperatura de teste escolhida (4, 25 ou 40°C).

Para simular as condições hidrostáticas de pressão experimentadas pelos revestimentos das linhas flexíveis, foram realizados ensaios de exposição de amostras dos materiais à ambiente submerso em água sob alta pressão (200 bar). Os procedimentos usados no ensaio de hidrólise são os descritos pela norma ASTM D 471. Neste trabalho, a propriedade monitorada ao longo do tempo de exposição foi a perda de resistência ao desgaste abrasivo. A temperatura de exposição das amostras foi de cerca de 23°C e o período de imersão foi de 125 dias. Para obter informação sobre a taxa de deterioração da resistência ao desgaste, foram feitos cinco ensaios de desgaste ao longo deste período. O líquido usado foi a água do mar regulada pela norma ASTM D1141.

Com base nos resultados de desgaste na fase de classificação dos materiais, foi escolhida uma dada condição para avaliação do desgaste dos materiais levados à câmara hiperbárica para o ensaio de hidrólise. Desta forma, os ensaios de desgaste nestas amostras foram realizados com 15 N de carga e 25°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos mecanismos de desgaste nos revestimentos

Observações macroscópicas do aspecto da superfície desgastada evidenciam a ocorrência de sulcos profundos nas laterais da linha e grande redução de espessura na superfície inferior (geratriz) com a presença de indentações. Na região lateral, os sucros encontrados apresentavam profundidades da ordem de 1 mm e larguras com cerca de 8 mm. Em grande parte dos casos, foram encontradas evidências de que os eventos de desgaste foram gerados pela ação continuada de uma mesma protuberância abrasiva. Na parte inferior, quando não há perda total do revestimento, há uma seção de espessura bem mais delgada e com perfil mais regular que na região lateral. Todavia os mecanismos de desgaste só são melhor compreendidos através de Microscopia Eletrônica de Varredura.

As imagens do aspecto topográfico típico da superfície desgastada obtidas através de Microscopia Eletrônica de Varredura evidenciam a presença de riscos e indentações profundas nas superfícies laterais (Figura 4). Nota-se ainda, que partículas abrasivas encontram-se incrustadas na superfície do revestimento polimérico.

A superfície inferior da linha, região com maior redução da espessura, apresenta-se mais lisa em relação às laterais (Figura 5). Neste caso, nota-se a presença de pequenos riscos na direção longitudinal indicando que também há movimentação da linha neste sentido. Tanto nas laterais quanto na região inferior, a presença de trincas evidencia a ocorrência de fadiga do material.

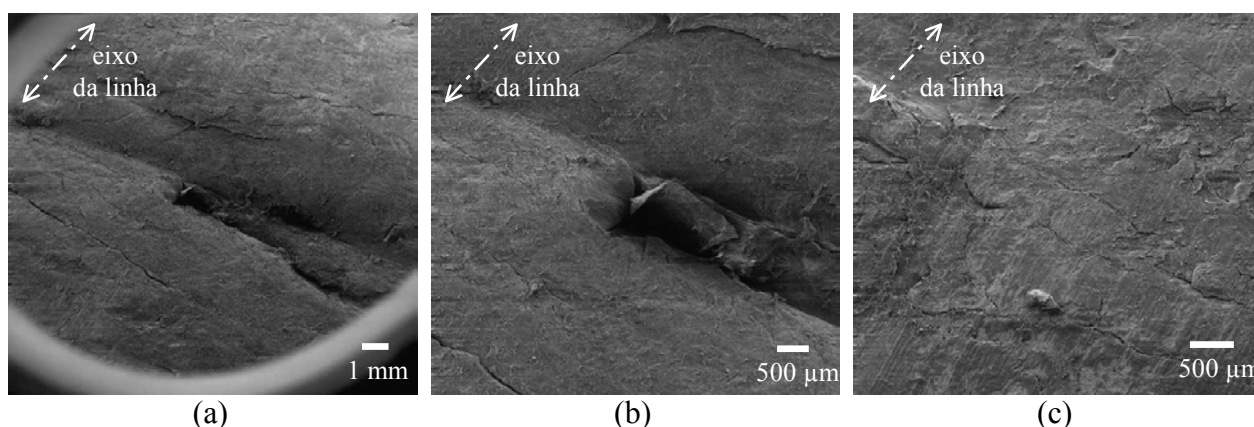


Figura 4 – Superfície de desgaste da **região lateral** da capa externa de PA11: (a) vista geral, (b) detalhe da partícula abrasiva incrustada e (c) trincas

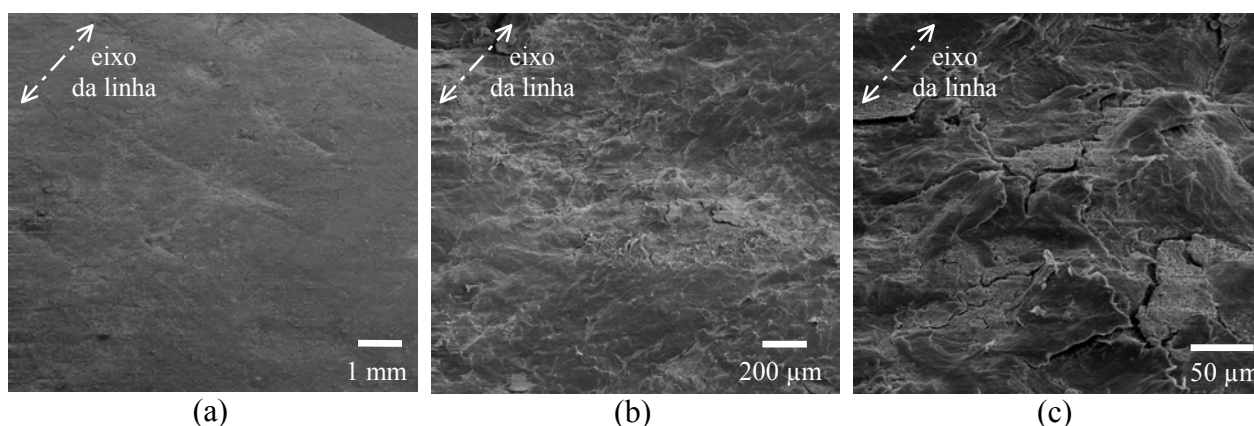


Figura 5 – **Superfície inferior** do revestimento desgastado: (a) sulcos com menores dimensões, (b) e (c) ampliações para verificação dos microeventos de desgaste

3.2 Ensaios desgaste

Os resultados do efeito da carga de testes apresentados na Figura 6 são dados pela perda de volume dos materiais. Para todos as condições de temperatura, sempre há um aumento na perda de volume com o aumento da carga de teste. Este fenômeno é observado para todos os materiais. Nota-se ainda que este comportamento, para a faixa de carga analisada, obedece uma relação aproximadamente linear semelhantemente aos resultados de Harsha *et al.*, (2002).

Destes ensaios desgaste em função da carga de teste, nota-se ainda um desempenho da amostra de BO-04 superior aos das amostras de PE-01, de PA-01 e BO-05. Todavia, os poliuretanos PU-01 e PU-03 apresentam-se como materiais superiores à BO-04. A superioridade do PU-01 é ainda maior à medida em que se aumenta a carga de teste. Este comportamento também pode ser observado em todas as condições de temperatura ensaiadas.

Excetuando-se em algum caso, em que em determinados trechos do gráfico, a BO-05 e a poliamida (PA-01) se confundem, de forma geral, pode-se dizer que a classificação dos materiais é sempre mantida. Assim, a ordem decrescente de resistência ao desgaste é dada por: PU-01 > PU-03 > BO-04 > PA-01 > BO-05 > PE-01.

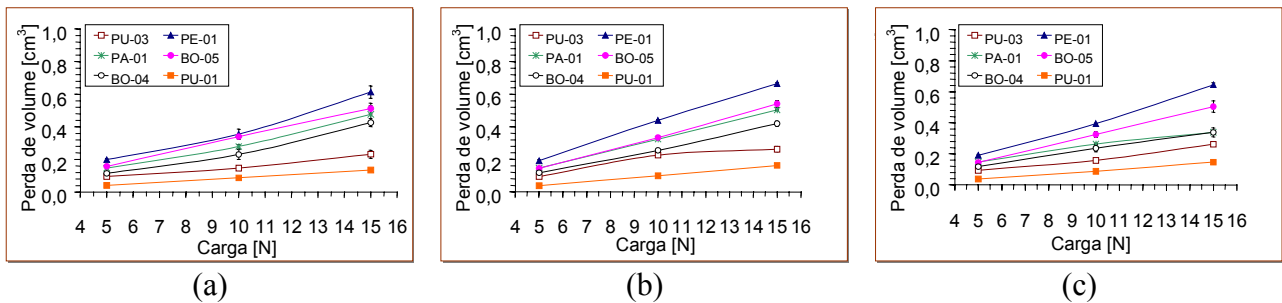


Figura 6 – Efeito da carga de teste na perda volumétrica: (a) 4°C, (b) 25°C e (c) 40°C

A influência da temperatura nos resultados de desgaste é apresentada na Figura 7. Apartir destes resultados, pode-se dizer que, para as condições usadas no ensaio, não há uma evidente influência da temperatura na perda de volume. Além disso, foi observado que a classificação dos diversos materiais se mantêm para todas as condições.

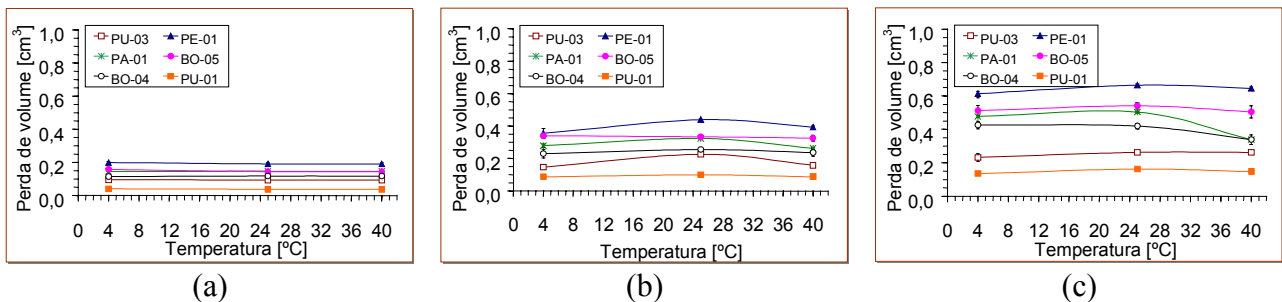


Figura 7 – Efeito da temperatura na perda de volume: (a) 5 N, (b) 10 N e (c) 15 N

3.3 Ensaios de hidrólise e desgaste

Após 125 dias, em ambiente com água do mar sob a condição de alta pressão, quase nenhuma alteração macroscópica foi observada nas amostras. De forma geral, os materiais negros, sobretudo as borrachas, tendem a um clareamento. Este comportamento pode ser devido a perda de pigmentação. Por outro lado, a amostra de PU-03, apresentou um escurecimento superficial. Em princípio, este fenômeno poderia estar associado a trocas de pigmentos entre os materiais uma vez que todos experimentaram o mesmo ambiente durante o ensaio de hidrólise. Todavia, pelo fato de não se observar nenhuma alteração de mesma natureza no outro poliuretano (PU-01), acredita-se que o fenômeno seja devido a eventos de degradação estrutural do polímero via hidrólise.

Os resultados de desgaste mostram que nenhuma grande modificação no comportamento ocorre (Figura 8). A impassibilidade dos materiais testados à influencia degradante da hidrólise pode ser associada ao fato de que a maioria dos materiais, possuem uma alta inércia química. Materiais como os polietilenos e as poliamidas são reconhecidamente resistentes à hidrólise (Blass, 1988).

Por outro lado, materiais como os poliuretanos podem ser susceptíveis de degradação via hidrólise. Segundo Gorni (2000), dentre as duas classes principais de poliuretanos termoplásticos: os ésteres são caracteristicamente mais tenazes, porém podem sofrer hidrólise, a outra classe, os éteres, são caracteristicamente menos tenazes e podem sofrer ataque químico porém estão muito menos sujeito à biodegradação e a hidrólise.

Como ambos os poliuretanos testados foram identificados como sendo pertencentes ao grupo dos poliéteres, os resultados de desgaste estão de acordo com o esperado. Todavia, o escurecimento do PU-03 revela a importância da realização de novos ensaios de hidrólise de longa duração para melhor compressão do fenômeno.

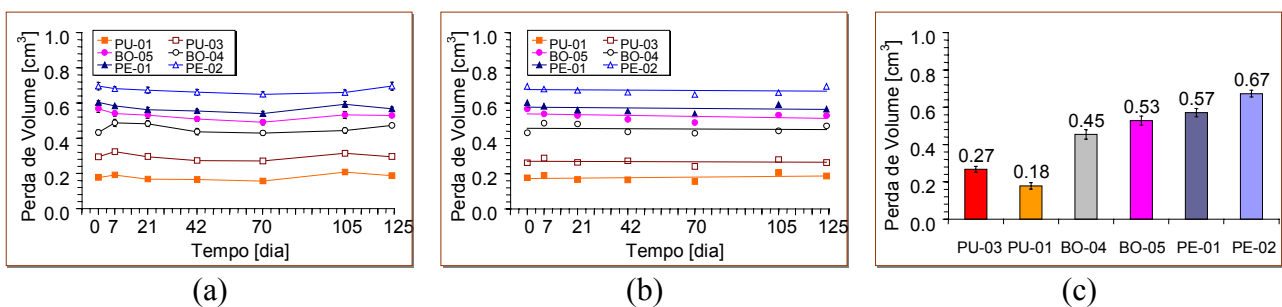


Figura 8 – Evolução da perda de volume nas amostras do ensaio de hidrólise

Os resultados de desgaste da amostra PE-02, adicionada ao grupo de materiais anteriormente testados, mostram que, para esta condição de desgaste, este material não possui um bom desempenho. Para a condição de carga de 15 N, o material apresentou o pior desempenho, com perdas de volume maiores até que a outra amostra de polietileno (PE-01). Este fenômeno pode ser associado à composição destes materiais. As amostras PE-01 e PE-02, são respectivamente polietilenos de baixa e de alta densidade. Ambos materiais são caracterizados por longas cadeias lineares com fracas ligações entre si. Assim, quando da ação da partícula abrasiva, estes materiais são facilmente riscados levando à altas perdas por desgaste.

Ressalta-se aqui que o comportamento tanto do PE-02 quanto do PE-01 assemelham-se muito ao comportamento da poliamida (PA-01), cuja configuração molecular tem características semelhante às dos polietilenos, ou seja, cadeias lineares. Alguns trabalhos na literatura (Marcus *et al.*, 1994 e Thorp, 1982) mostram resultados de desgaste destes materiais, contudo quando são aplicáveis à condições de deslizamento, como nos mancais de deslizamento. Assim, o baixo coeficiente de atrito, requeridos nas situações de deslizamento, é conseguido graças as baixas forças de ligação entre as longas cadeias lineares.

3.4 Correlação dos resultados de desgaste com propriedades mecânicas dos polímeros

De forma geral, os resultados obtidos no abrasômetro DIN 53.516 nas diversas temperaturas de ensaio e cargas, não apresentam uma correlação direta com os resultados de dureza (Figura 9). Os poucos trabalhos existentes na literatura envolvendo desgaste abrasivo de materiais poliméricos mostram uma baixa, ou nenhuma correlação entre abrasão e propriedades mecânicas de tração, dureza e dureza ao risco (Yabuki *et al.*, 2000, Larssen-Basse *et al.*, 1988).

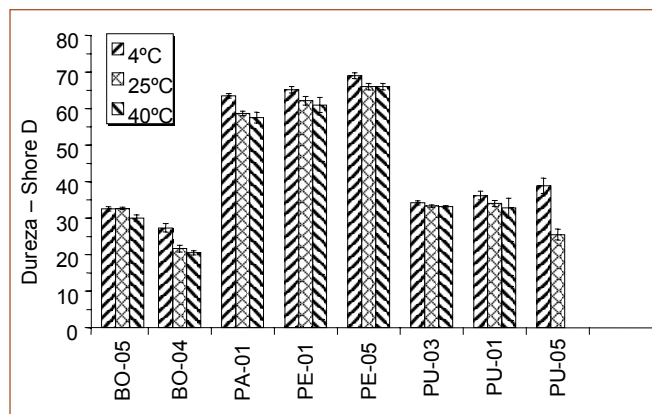


Figura 9 – Efeito da temperatura na dureza Shore-D dos polímeros testados

Assim, na tentativa de investigar melhor os resultados obtidos no presente trabalho, as amostras ensaiadas no abrasômetro DIN 53.516 foram analisadas no que tange aos respectivos mecanismos de desgaste.

3.3 Mecanismos de desgaste atuantes nos ensaios de abrasometria

Os resultados mostram que o PU-05 é muito facilmente riscado (Figura 10-a). Os riscos produzidos pela lixa interagem entre si gerando fragmentos de desgaste, que podem ser facilmente removidos da amostra.

A BO-04, por sua vez, apresenta poucas evidências de riscos (Figura 10-b). A BO-05 apresenta (Figura 10-c), entretanto, alguns riscos, onde, freqüentemente, nota-se a presença de fibras, que são rompidas durante a ação das partículas abrasivas. Pode-se notar ainda a remoção dessas fibras do material durante o desgaste. Acredita-se que o destacamento das fibras possa levar ao corte prematuro da borracha, fato esse que pode contribuir significativamente para a redução da resistência ao desgaste. Isso muito provavelmente ocorre devido ao fato da BO-05 ser constituída basicamente de borracha sintética enquanto a BO-04 é constituída de borracha natural. Assim, o pior desempenho da BO-05 pode estar associada às baixas propriedades de aderência da resina às fibras.

O PE-01 (Figura 10-d), o PE-02 (Figura 10-e) e a PA-01 (Figura 10-f) apresentam mecanismos de desgaste caracterizados por microcorte e microsulcamento profundos. Neste caso, há grande formação de fragmentos na lateral do sulco que são removidos quando da passagem de outros abrasivos.

Já o PU-03 (Figura 10-g) e o PU-01 (Figura 10-h) os mecanismos de desgaste são caracterizados por microcorte e microtrincamento. Para estes materiais, a grande diferença observada é a escala com que os eventos de desgaste ocorrem. Assim, a dimensão dos sulcos/riscos, é muito menor que nos outros materiais.

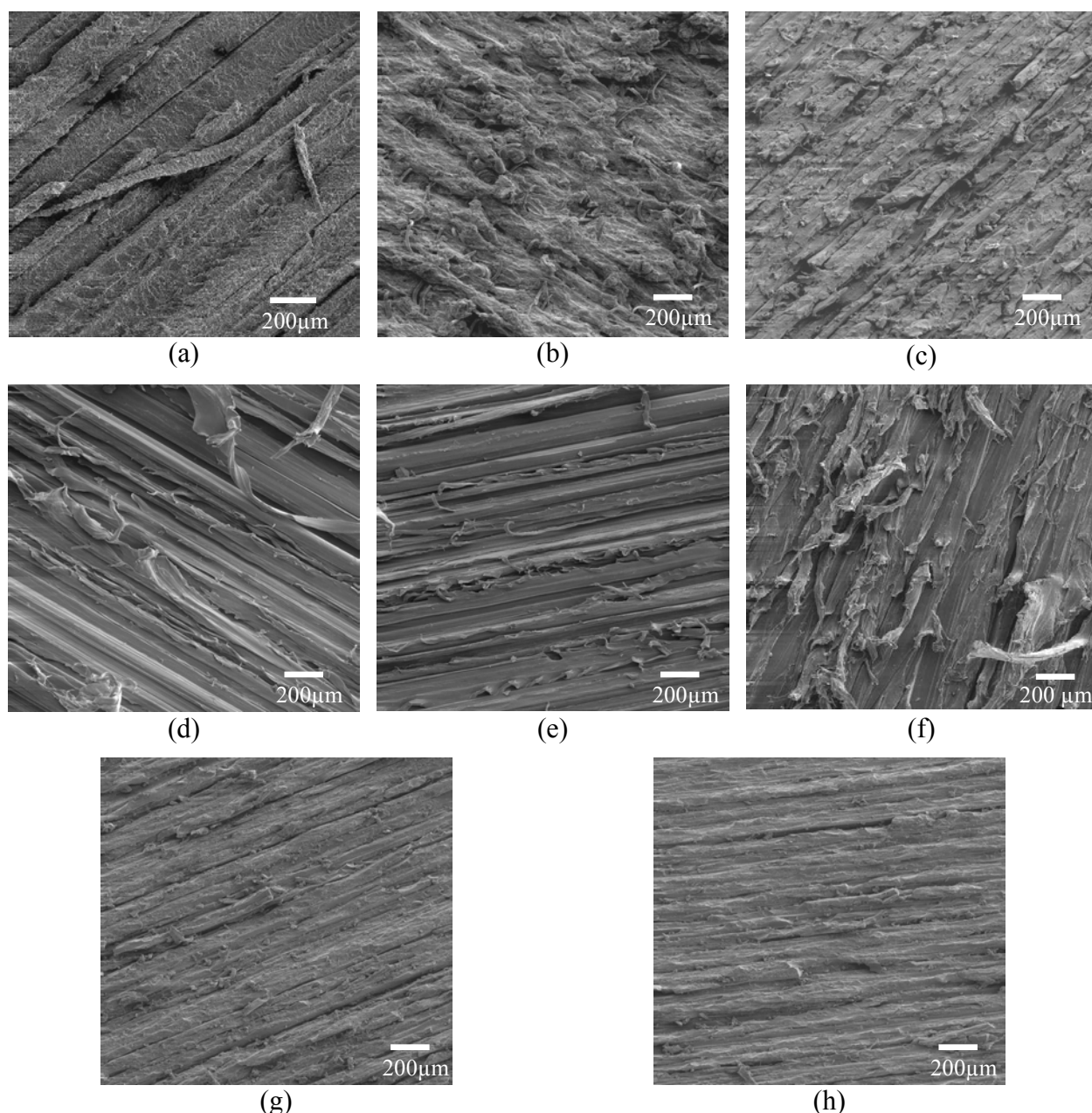


Figura 10 – Mecanismos de desgaste atuantes nas amostras ensaiadas: (a) PU-05, (b) BO-04, (c) BO-05, (d) PE-01, (e) PE-02, (f) PA-01, (g) PU-03 e (h) PU-01.

4. CONCLUSÕES

Apartir da observação do ambiente onde estão inseridas as linhas flexíveis, ficou evidente que o desgaste do revestimento polimérico é devido ao fenômeno de movimentação relativa deste contra abrasivos e/ou protuberâncias duras contidos na camada de detritos do fundo do mar.

A observação dos mecanismos de desgaste atuantes nos revestimentos de poliamida 11 apresentam nas laterais riscos de dimensões consideráveis. Na região inferior (geratriz), onde foi observada a maior redução de espessura do revestimento de poliamida 11, tem-se uma topografia menos rugosa, contendo riscos de menores dimensões.

Dos resultados obtidos com a abrasometria DIN 53.516, conclui-se que o PU-05 apresenta uma desempenho cerca de 8 vezes inferior ao observado no PU-01. Além disso, os polietilenos (PE-02 e PE-01), a BO-05 e a poliamida (PA-01) também não apresentaram bons desempenhos.

O aumento da força normal nos ensaios de desgaste levou a um aumento na perda de volume para todos os materiais. Todavia, esse aumento foi menos acentuado nos materiais com maior resistência ao desgaste.

Para as condições de testes usadas, observou-se que a temperatura praticamente não tem efeito na perda de volume dos materiais testados. Além disso, para as condições impostas no ensaio de hidrólise, quase nenhuma alteração no desempenho das amostras foi observada.

O estudos referentes aos mecanismos de desgaste observados nas amostras ensaiadas mostram, de forma geral, que o microsulcamento e o microcorte levam a maiores perdas de volume quando comparado ao microtrincamento. Além disso, de forma genérica, as escalas com que estes eventos ocorrem determinam a classificação dos materiais.

5. REFERÊNCIAS

- ASTM D 1141, 1998, “Standard Practice for the preparation of Substitute Ocean Water”.
- ASTM D 471, 1998, “Standard Test Method for Rubber Property-Effect of Liquids”.
- Barbosa, C. H., Kühner, G., Lima, E. A., Vellasco, M. e Pacheco, M. A., 2002, “Aplicação de Redes Neurais MLP na Compensação de Distorções em Medidas com Células de Carga Efetuadas em Navios Lançadores de Linhas Flexíveis”, XIV Congresso Brasileiro de Automática, Natal-RN.
- Blass, A., 1988, “Processamento de Polímeros”, Ed. da UFSC.
- Crane, F. A. A., Charles, J. A. and Furness, J. A. G., 1997, “Selection and Use of Engineering Materials”, Butterworth/Heinemann, 3th edition, Oxford.
- DIN 53.516, 1987, “Testing of rubber and elastomers: Determination of abrasion resistance”.
- Gorni, A. A., 2000, “Elastômeros Termoplásticos à Base de Poliuretano”, Plástico Industrial, 42-59.
- Harsha, A. P. and Tewari, U. S., 2002, “Two-body and three body abrasive wear behaviour of polyaryletherketone composites”, Polymer Testing 22 (2002) 403-418.
- Larsen-Basse, J. and Tadjvar, A., 1988, “Slurry Abrasion of Polymers under Simulated Submarine Conditions”, Wear 122, 135-149.
- Marcus, K. and Allen, C., 1994, “The sliding wear of ultrahigh molecular weight polyethylene in an aqueous environment”, Wear 178, 17-28.
- Thorp, J. M., 1982, “Abrasive wear of some commercial polymers”, Trib. Int., 59-68.
- Uchiyama, Y., Ueji, Y., Kudo, A. and Kimura, T., 1993, “Effect of temperature on the wear of unfilled and filled liquid crystal polymers”, Wear, 162-164, 656-661.
- Yabuki, A., Sugita, K., Matsumura, M., Hirashima, M. and Tsunaga, M., 2000, “The anti-slurry erosion properties of polyethylene for sewerage pipe use”, Wear 240, 52-58.

5. DIREITOS AUTORAIS

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

ABRASIVE WEAR OF POLYMERIC MATERIALS USED IN THE PROTECTION OF FLEXIBLE LINES OF OIL'S CONDUCTION

Francisco Francelino Ramos Neto

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
francisco@mecanica.ufu.br

Luiz Antônio Sulino de Negreiros

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG
lasulino@yahoo.com.br

Sinésio Domingues Franco

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - MG.
ltm-sdfranco@ufu.br

Marcelo Torres Piza Paes

Petrobras, Cenpes – RJ
mtp@cenpes.petrobras.com.br

Abstract: *The oil conduction in deep waters is made by flexible lines that, for the fact to be inserted in a very corrosive environment, have its metallic elements protected by polymeric materials. These coverings are characterized by its high chemical inertia, besides allowing necessary flexibility to the structure. However, the severe abrasive action found in some regions of the marine environment, these coverings finish having problems due to it wear. To evaluate the performance of materials currently applied, as of others with potential application for this purpose, abrasion tests of the type pin-on-drum had been carried. It was developed a new equipment that is in conformity to DIN 53,516 norm. The wear tests had been carried through in submerged environment in water with the temperatures of 4, 25 and 40°C and normal loads of 5, 10 and 15 N. Additionally, the Shore-D hardness of the materials had been measured. A polyamide, three rubbers, two polyethylenes and three polyurethanes had been tested. The evaluation of the wear was made through the interrupted gravimetric method, and the measurement of mass loss made in a scale of 10^{-5} g of resolution. The wear mechanisms had been characterized through Scanning Electron Microscopy. Moreover, it had been carried through induced degradation tests in a hyperbaric chamber with synthetic water sea. After each one of the seven periods between 125 days of exposition, the samples had been submitted to the wear tests. The results had shown that the tested polyurethanes possess a wear resistance remarkably superior the other materials and that, under the used load conditions, the temperature possess little influence in the wear. The wear also did not suffer to alteration after the induced degradation tests. Moreover, the hardness tests, had shown no clear correlation with the wear results.*

Keywords: *Abrasive wear, polymers, flexible lines, hydrolysis, deep water*