

MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO DE PROTEÇÕES DE LINHAS FLEXÍVEIS NA REGIÃO DO TDP¹

Marcelo Torres Piza Paes²
Antônio Marcos Rego Motta²
Ricardo Reppold Marinho²
Juliano Oséias de Morais³
Sinésio Domingues Franco⁴

Resumo

Devido à interação das linhas flexíveis (LF) com solo marinho, há uma forte redução da espessura dessas linhas na parte inferior. Para amenizar esse problema são usadas proteções em forma de calhas bipartidas que são fixadas nas regiões de desgaste intenso através de cintas metálicas. O presente trabalho tem como objetivo identificar os principais mecanismos de degradação de proteções linhas flexíveis de extração de petróleo na região de toque com o leito marinho – TDP (*Touch Down Point*). Os mecanismos de desgaste foram analisados em amostras removidas após 44 meses de operação de uma LF, correspondente à região de TDP, (poço Marlin 37, plataforma P-19, linha de injeção de água, diâmetro de 6 polegadas). Imagens de perfis e microscopias eletrônicas de varredura de superfícies desgastadas foram observados e encontrou-se, que a degradação desses componentes se dá, basicamente, pela ocorrência de grandes eventos de riscamento por deslizamento de partículas duras. Outros mecanismos são observados, mas com efeitos minoritários sobre a taxa de desgaste do componente.

Palavras-chave: Degradação; Linhas flexíveis; TDP.

MECHANISMS OF DEGRADATION OF FLEXIBLE LINES'S PROTECTIONS IN THE REGION OF THE TDP

Abstract

On inspection of flexible risers, scratches and a significant reduction of the riser protection layer were observed. These damages were found to be related to the relative movement of the pipe in the area of the touchdown point (TDP). In order to reduce this problem the risers have being coated externally with plaques of polyurethane. The objective of this work is to investigate the main mechanisms of degradation of the flexible lines's protections. The consuming mechanisms had been analyzed in samples removed after 44 months of operation of a LF, correspondent to the TDP region, (well Marlin 37, P-19 platform, line of water injection, diameter 6 inch). Images of sections and worn surfaces were observed on a scanning electron microscope for analysis of the degradation of the gutters. Using SEM imaging, it was found, that three wear eventes exist. However, the most significant wear mechanisms is the scratching for elements with less acute tips.

Key words: Degradation; Flexible lines; TDP.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Eng. Pleno, Petrobras/CENPES, Rio de Janeiro/RJ

³ Eng. M.Sc. Faculdade de Eng. Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia

⁴ Prof. Dr.-Ing. Adjunto da Faculdade de Eng. Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia.

1 Introdução

As linhas flexíveis são dutos fabricados em grandes extensões, constituídos por várias camadas. Elas são componentes utilizados atualmente na extração de petróleo em águas profundas. Essas linhas conectam as plataformas a equipamentos de controle dos poços e, devido à movimentação relativa, ao tocarem o fundo do mar, experimentam um pronunciado processo de desgaste abrasivo. Esse desgaste é mais acentuado no ponto de início do contato da tubulação com o fundo do mar (*Touch Down Point* – TDP). Segundo Kayser JR.,⁽¹⁾ isso se deve basicamente à movimentação da plataforma e às correntes marinhas, que determinam uma movimentação do duto em relação ao relevo marinho. Para reduzir esse problema, as linhas flexíveis vêm sendo revestidas externamente com materiais poliméricos na forma de luvas bipartidas.

A troca desses componentes é um processo demorado, complexo e oneroso. Por isso, a escolha de materiais mais resistentes ao desgaste está diretamente relacionado à lucratividade das companhias de exploração de petróleo.⁽²⁾

A análise dos mecanismos de desgaste de restos de uma capa externa de LF protegida com Poliamida Nylon por Paes *et al.*⁽³⁾ evidenciou riscos pronunciados nas laterais. Na parte inferior, esses riscos são menos profundos. Como podem ser notados da Figura 1, os riscos gerados pela sollicitação tribológica apresentam-se perpendiculares ao eixo principal da linha.

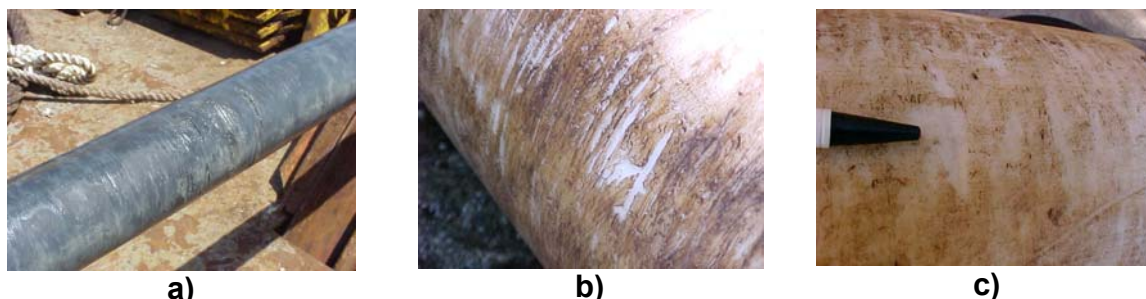


Figura 1. Vista geral das dimensões dos danos causados pela movimentação das LF na região do TDP, a) linha com capa externa de polietileno (PE), b) e c) linha com capa externa de Poliamida.⁽⁴⁾

Desta forma, proteções em formas de calhas bipartidas confeccionadas em poliuretano (PU) vêm sendo utilizadas atualmente em LF para redução do desgaste na região de toque desses componentes com solo marinho, Figura 2.

O poliuretano (PU) é um dos materiais que tem sido empregado pela Petrobrás nessas aplicações. Estes materiais, além de serem resistentes à corrosão, têm sido estudados em situações onde predomina a abrasão e os resultados obtidos por Thorp,⁽⁵⁾ Mano⁽⁶⁾ e Budinski⁽⁷⁾ mostram um bom desempenho. Segundo Vilar,⁽⁸⁾ as propriedades mecânicas e de resistência ao desgaste dos PU's podem variar de acordo com a formulação.

Bons resultados têm sido obtidos com esses componentes, porém, uma análise mais detalhada dos mecanismos de desgaste dessas proteções pode direcionar a seleção de novos materiais para essa aplicação.

Dada a importância econômica e ambiental que o assunto representa para a exploração de petróleo em águas profundas, Petróleo Brasileiro S.A.,⁽⁹⁾ e Franco,⁽⁴⁾ justifica-se um trabalho que venha gerar conhecimento nesse assunto, bem como contribuir na seleção de materiais para aplicação.

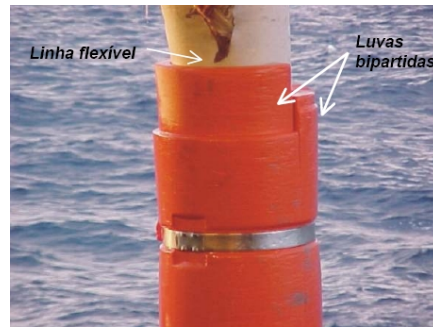


Figura 2. Proteção montada em uma LF.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O presente trabalho estudou os mecanismos de desgaste em segmentos de proteções de LF fabricadas com um PU de dureza 85 Shore A. Amostras foram retiradas a partir de um segmento de proteções de LF após 44 meses de uso na plataforma P-19, retirado para inspeção.

Amostras foram retiradas na região visivelmente mais desgastada. Essas amostras foram observadas em sua topografia e, em uma delas, onde o evento de desgaste atingiu visualmente a maior profundidade, foi realizada a medição da perda de espessura através do perfil lateral. Para isso, o perfil lateral obtido através do corte da amostra foi lixado com lixa 100 *mesh* e digitalizado através de um scanner HP Scanjet 4C. Essa imagem foi transferida para um programa computacional medição da perda de espessura.

Os mecanismos de desgaste a nível microscópico foram analisados em regiões contendo riscos, indentações e trincas, ou seja, de tal forma que todos os fenômenos ocorrentes pudessem ser analisados. As regiões de desgaste nas amostras foram recobertas com ouro e levadas ao Microscópio Eletrônico de Varredura Carl Zeiss LEO 940A.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Numa análise visual nota-se que, de forma geral, as calhas apresentam-se praticamente inalteradas em suas dimensões originais na geratriz, e, portanto, em excelente estado. Alguns riscos com comprimento de até 60 mm foram observados, não comprometendo, todavia, as funções de proteção da calha, Figura 3a.

A Figura 3b apresenta um segmento de uma proteção com alguns desses riscos com maior aproximação, onde se nota dentro do risco a presença de pequenas marcas transversais à direção de riscamento. Essas marcas foram observadas primeiramente por Schallmach⁽¹⁰⁾ em 1971 e posteriormente, abordados por Southera e Thomas⁽¹¹⁾ em 1978; Bhowmick⁽¹²⁾ em 1982 e Uchiyama e Ishino⁽¹³⁾ em 1992, onde um padrão de sulcos perpendiculares à direção de deslizamento é formado na passagem do abrasivo.

O estudo deste padrão de desgaste abrasivo estabeleceu que microtrincas são iniciadas devido ao forte atrito na interface do abrasivo e da superfície do material. Inicialmente essas trincas crescem para o interior do material, mas quando a dobra de deformação cresce devido a passagem do abrasivo, a trinca aflora a superfície numa região próxima ao contato, com crescimento e destacamento. Nessa Figura observa-se ainda a presença de indentações ou impressões geradas por partículas duras do solo marinho. Contudo, a contribuição desse mecanismo de degradação parece ser pequena para a perda localizada de material.

Essa constatação fica evidente na Figura 3c. A redução de espessura no segmento focado pela fotografia é significativa e foi gerada basicamente por um processo de riscamento.

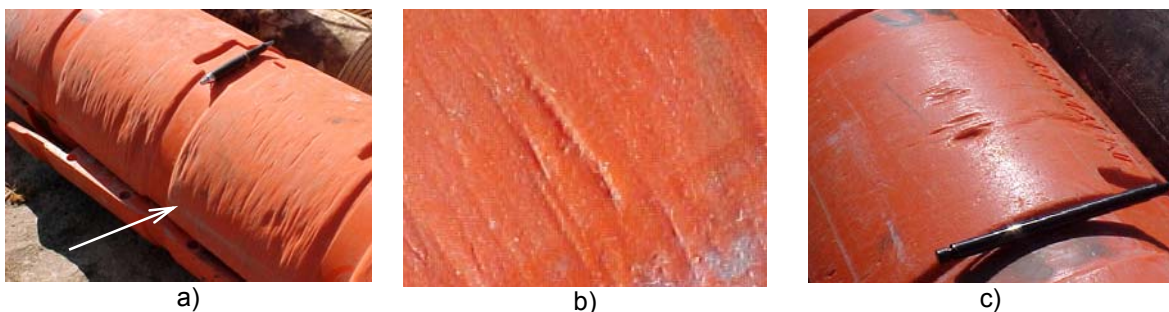


Figura 3. Detalhes das geratrizes de calhas protetoras após 44 meses trabalhando na plataforma P-19, a) segmento mais significativamente desgastado na espessura (região indicada pela seta), b) detalhes de riscos e indentações e c) geratriz com desgaste localizado.

A Figura 4 mostra a análise do perfil de desgaste da seção longitudinal da região mais desgastada da calha. A máxima redução na espessura chegou a aproximadamente 18%.

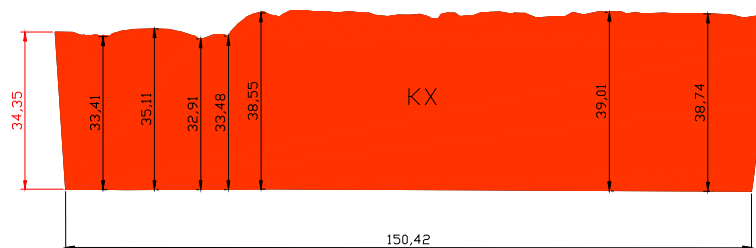


Figura 4. Seção longitudinal do segmento com maior desgaste abrasivo, notar cotas em mm (espessura original de 40 mm).

Os micromecanismos de desgaste podem ser observados através da microscopia eletrônica de varredura. A Figura 5 apresenta o aspecto típico de um risco observado na amostra da calha. O risco apresenta-se relativamente liso sem evidências de deformação plástica. Além disso, nota-se, especialmente na parte superior da Figura 5a uma topografia característica dispostas de forma perpendicular à direção de riscamento e, aparentemente, igualmente espaçadas.

Em maiores aumentos, observa-se que a superfície dessas amostras foi gerada através da propagação de trincas de forma frágil, ou seja, constituídas de superfícies relativamente lisas, como mostrado na Figura 5c.

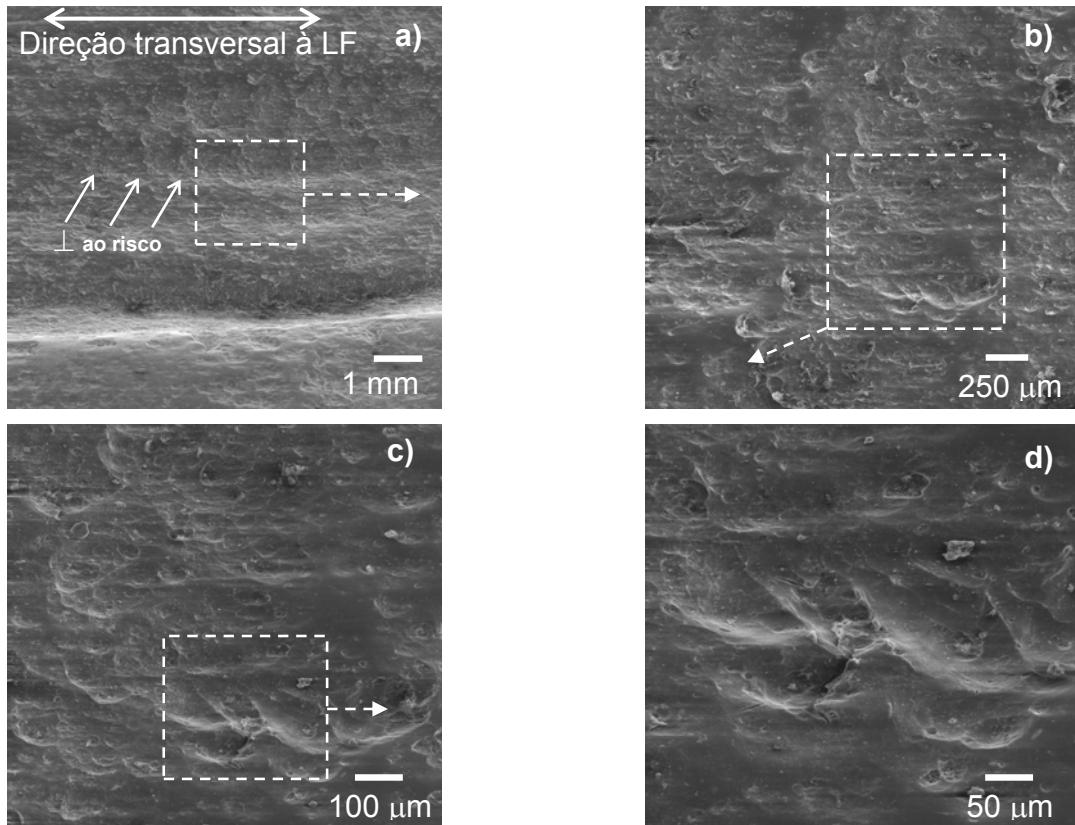


Figura 5. Calha, PU, a) vista geral, b), c) e d) detalhes, MEV.

A Figura 6 apresenta o aspecto topográfico típico de um risco relativamente grande na amostra de PU. Na suas imediações foram observadas marcas transversais. A remoção de material aconteceu, basicamente através da propagação das trincas como observado nas Figuras anteriores. Isso parece ser uma característica do fenômeno localizado de remoção de material, visto que, mesmo a temperatura de trabalho estando por volta de 4°C esse material não apresenta fase vítrea.

Nas regiões onde não foram observados riscos, pôde-se notar a presença de indentações de dimensões relativamente pequenas, quando comparadas com as dimensões dos riscos (Figura 7). Associado a essas impressões pôde-se notar a presença de microtrincas. Essas trincas podem facilitar a remoção de fragmentos de desgaste pela ação de elementos pontiagudos, seja pela ação de riscamento, seja pela indentação repetida. Ressalta-se ainda, que essas microtrincas só puderam ser observadas com aumentos elevados, sugerindo que sua extensão seja bastante pequena no material. Mesmo as trincas de maiores dimensões, observadas nas Figuras 5d e 6d e 6e têm uma profundidade de penetração bastante reduzida, como pode ser notado através de uma inspeção visual da seção longitudinal mostrado na Figura 8. Nenhum defeito ou trinca pôde ser notada abaixo da superfície da região mais

desgastada. A Figura 9 apresenta uma indentação, que resultou na formação de uma trinca de dimensões similares às observadas nas Figuras 6d e 6e. Muito provavelmente essas trincas apareçam no caso de esforços mais acentuados e/ou partículas duras agudas, diferente dos eventos de indentação observados na Figura 7d.

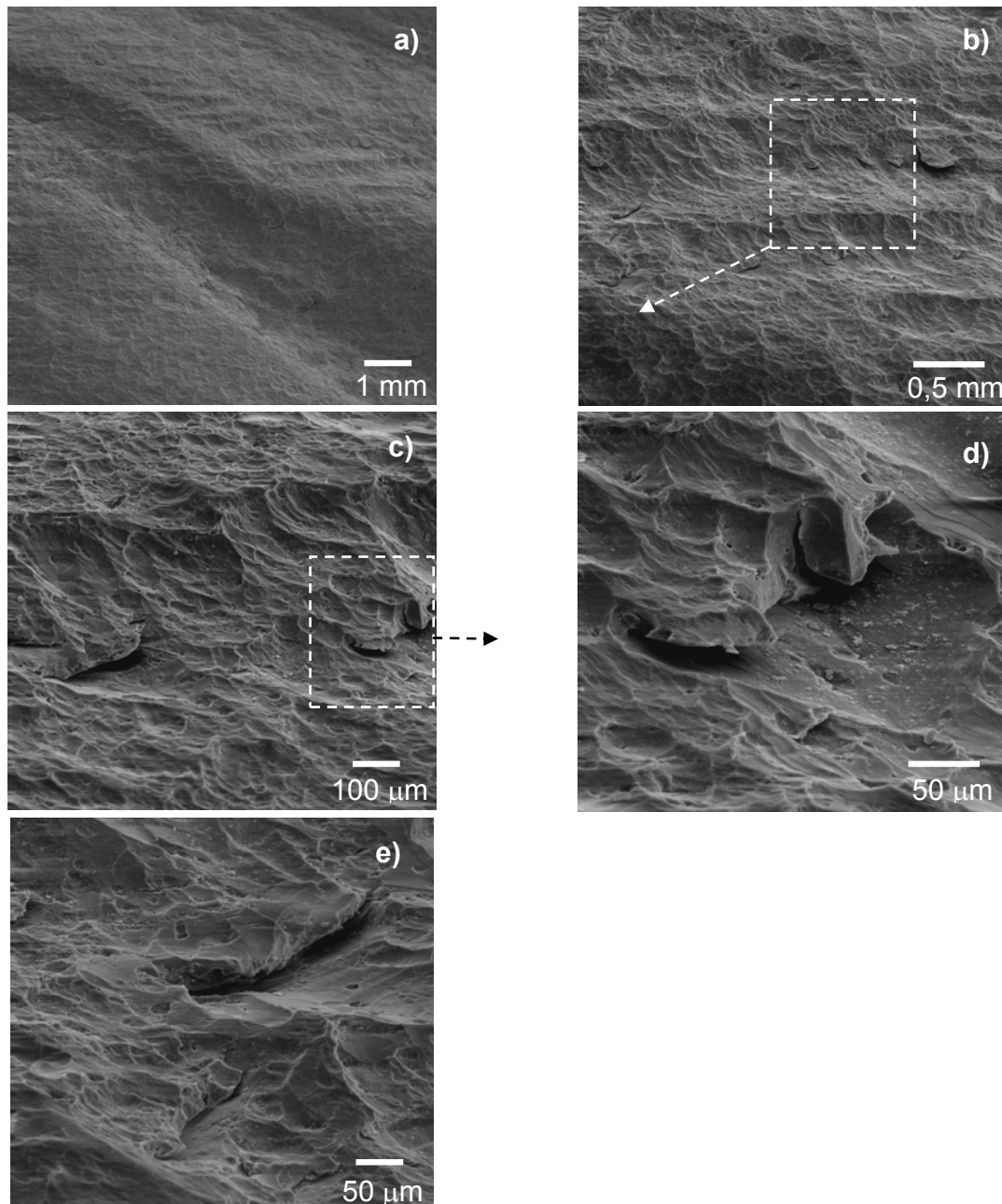


Figura 6. Superfície de PU após 44 meses de uso na região de riscos. a) Vista geral, b) maior aumento, c) detalhe de “b”, d) e e) detalhes de “c”.

A ação de partículas pontiagudas pode não só gerar indentações com microtrincas, mas também exercer uma ação incisiva e cortante a partir do momento que há movimento relativo entre essa partícula e a calha. As micrografias da Figura 10 ilustram esse tipo de evento. Vale ressaltar, que esse tipo de evento não foi observado com frequência, não devendo contribuir de forma decisiva para o processo. Assim, percebe-se que o principal evento responsável pela remoção de material nos segmentos da calha da Figura 2b seja o riscamento com partículas duras mais rombudas e resistentes mecanicamente, resultando em quantidades apreciáveis de material removido.

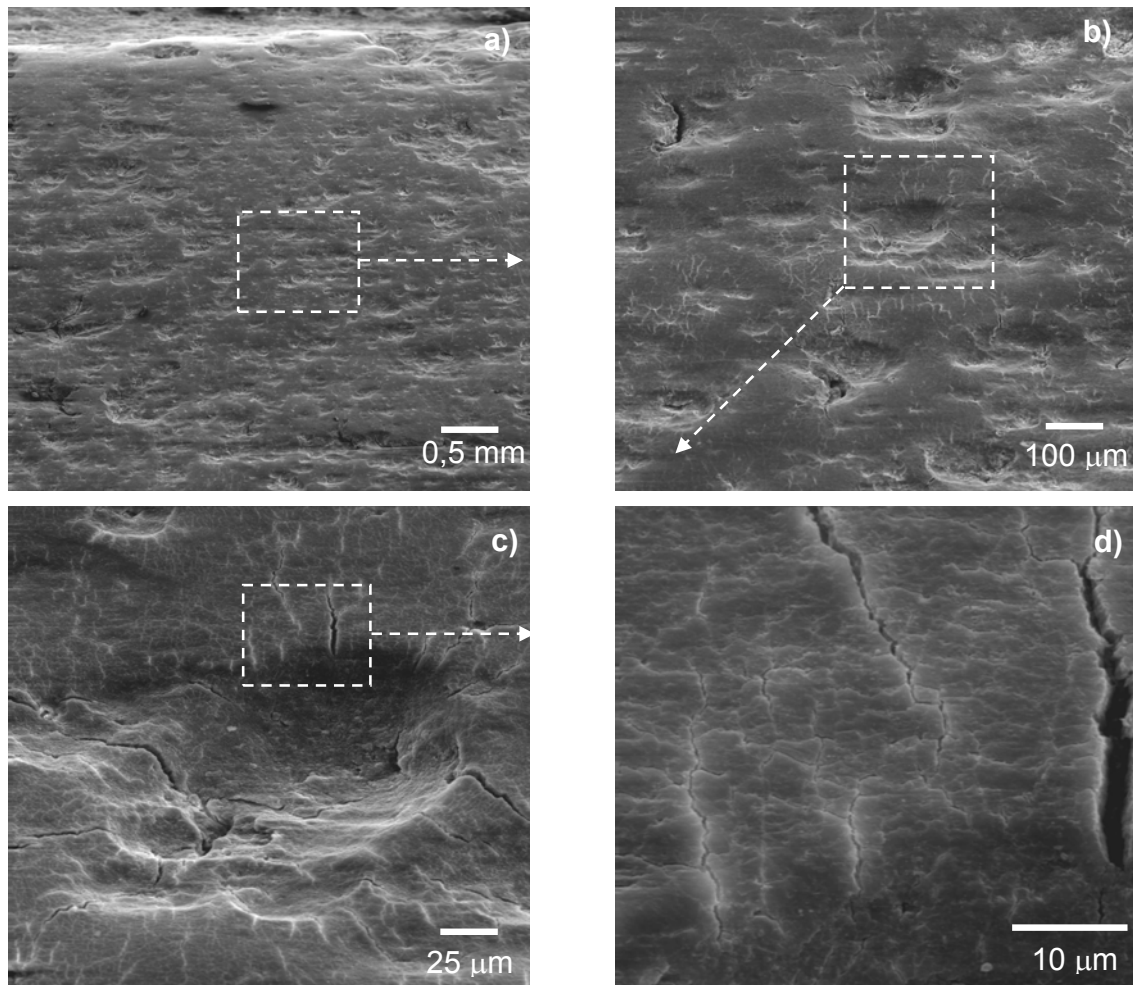


Figura 7. Calha, PU, região sem riscos, a) vista geral, b) c) e d) detalhes.

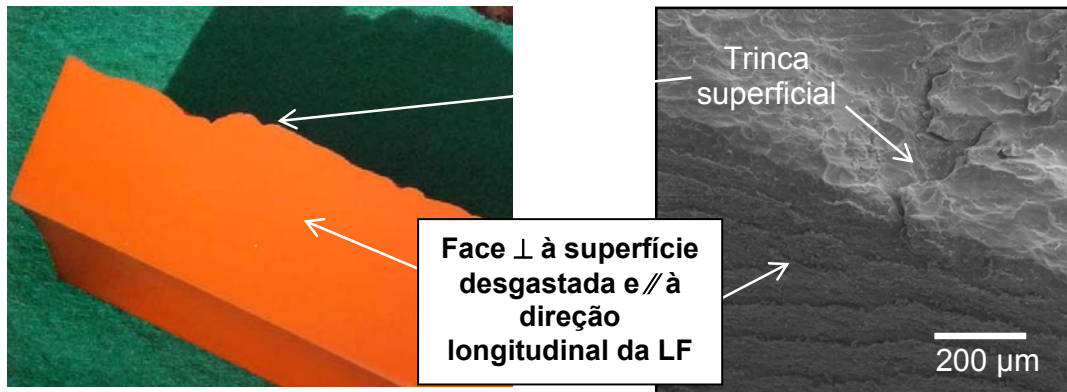


Figura 8. Seção longitudinal mostrando que as microtrincas observadas na superfície desgastada estão confinadas à região sub-superficial.

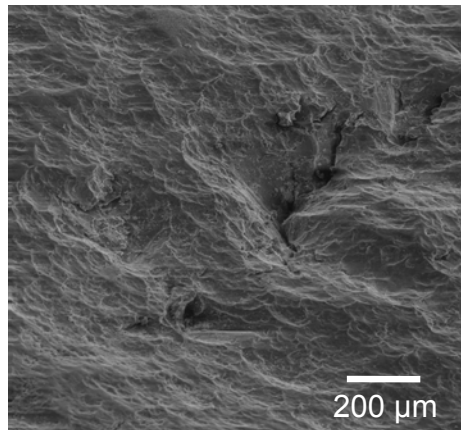


Figura 9. Evento gerado muito provavelmente pela indentação de asperidades duras e pontiagudas contra o PU.

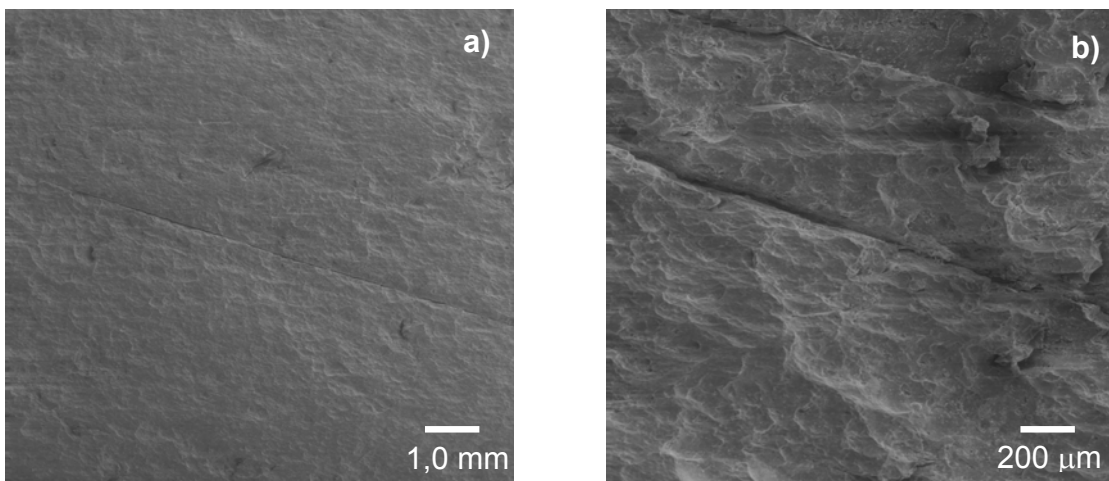


Figura 10. Superfície do PU após 44 meses de uso, aspecto de cortes.

4 CONCLUSÕES

Proteções de LF confeccionadas de PU em forma de calhas bipartidas foram observadas após 44 meses de uso.

Através de inspeção de imagens digitalizadas e microscopia eletrônica de varredura foram analisados segmentos que apresentaram desgaste e alguma perda de espessura.

A análise de perfis digitalizados mostrou que a máxima redução na espessura chegou a aproximadamente 18%. No restante da calha houve uma mínima redução na espessura, mantendo-se praticamente inalteradas em suas dimensões originais na geratriz, e, portanto, em excelente estado.

Com base na microscopia, pôde-se observar regiões com riscos e com indentações. Os riscos são os eventos de maior dimensão podendo chegar a 60 mm e se apresentam em duas configurações: com propagação de trincas gerando superfícies lisas, resultado de protuberâncias menos pontiagudas e a partir de uma ação incisiva e cortante de uma protuberância mais pontiaguda.

Os eventos de indentação, apesar de aparecerem em grande frequência, têm dimensões muito pequenas se comparados com os demais riscos.

Os eventos de corte aparecem esporadicamente e não contribuem de forma decisiva para o processo de desgaste.

Assim, percebe-se que o principal evento responsável pela remoção de material nos segmentos observados seja o riscamento com partículas duras mais rombudas e resistentes mecanicamente.

Agradecimentos

A PETROBRAS pelo apoio financeiro no desenvolvimento a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 KAYSER JR, D.L., 2003, “Análise Dinâmica de Linhas Flexíveis com Elemento de Pórtico não Linear Geométrico Híbrido”, Dissertação de Mestrado Eng. Civil UFRJ, 275 pgs.
- 2 Wang, Y.Q., Huang, L.P., Liu, W.L., Li, J., 1998, “The blast erosion behaviour of ultrahigh molecular weight polyethylene”, *Wear* 218, pp 128–133.
- 3 PAES, M. T. P., FRANCO, S. D., MORAES, J. M., MOTA, A. M. R, LONTRA FILHO, L. L., 2002, “Evaluation of Abrasive Wear of Polymeric Materials Using Single-Pass Pendulum Scratching”, *OMAE’02*, 6 pgs.
- 4 FRANCO, S.D., 2001, “Desgaste Abrasivo da Capa Polimérica Externa de Linhas Flexíveis”, Uberlândia, relatório interno, 60 pgs.
- 5 THORP, J.M., 1982, “Abrasive wear of some commercial polymers”, *Tribology international*, v 0301, pp 59-67.
- 6 MANO, E. B. ,1991, “Polímeros como Materiais de Engenharia” 3ª edição 198 pgs.
- 7 BUDINSKI, K. G.1997, “Resistance to particle abrasion of select plastics”, *Wear*, v.203-204, pp302-309.
- 8 VILAR, D. W., 2002, “Química e Tecnologia dos Poliuretanos” 3a. edição atualizada 400 pg.
- 9 PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., PROCAP 3000 a Próxima Fronteira. Disponível em:
- 10 http://www2.petrobras.com.br/minisite/aguas_profundas/procap/SistRisesflex.stm, Jul. 2003.
- 11 SHALLAMACH, A., 1971, “How does rubber slide?”, *Wear*, v. 17, pp 301-312.
- 12 SOUTHERN, E. and THOMAS, A. G., 1978, *Plastic Rubber: Mater. Appl.* V 3, pp 133-138.
- 13 BHOWMICK, A. K., 1982, *Rubber Chem. Technol.*, v 55, pp 1055.
- 14 UCHIYAMA, Y., ISHINO, Y., 1992, “Pattern abrasion mechanism of rubber”, *Wear*, v 158, pp 141-155.