

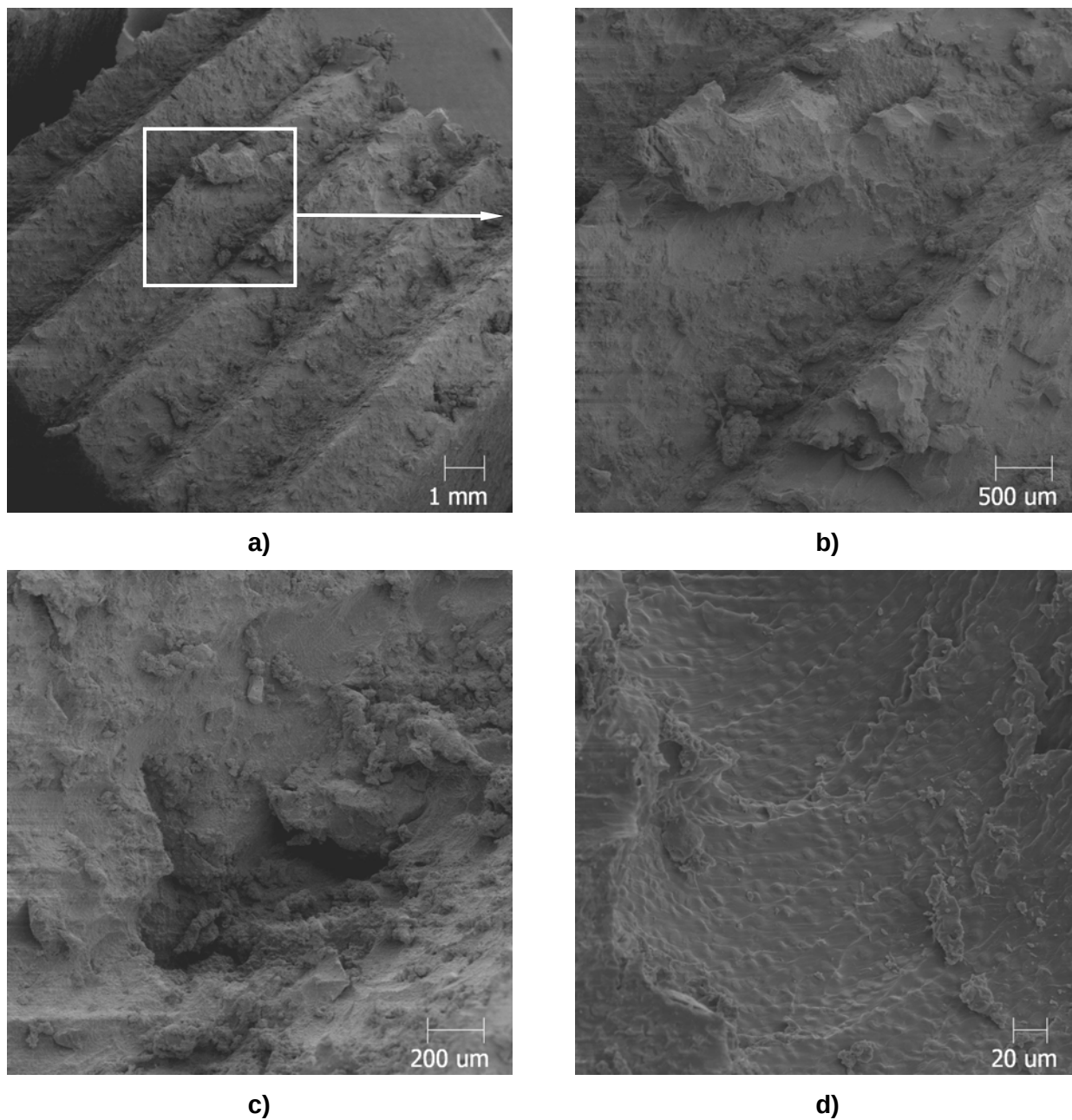


Figura 4.45 – Aspecto típico de superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a mostra E-595A1. a) vista geral; b) detalhe de “a”; c) detalhe de um vale; d) detalhe da superfície do material, MEV.

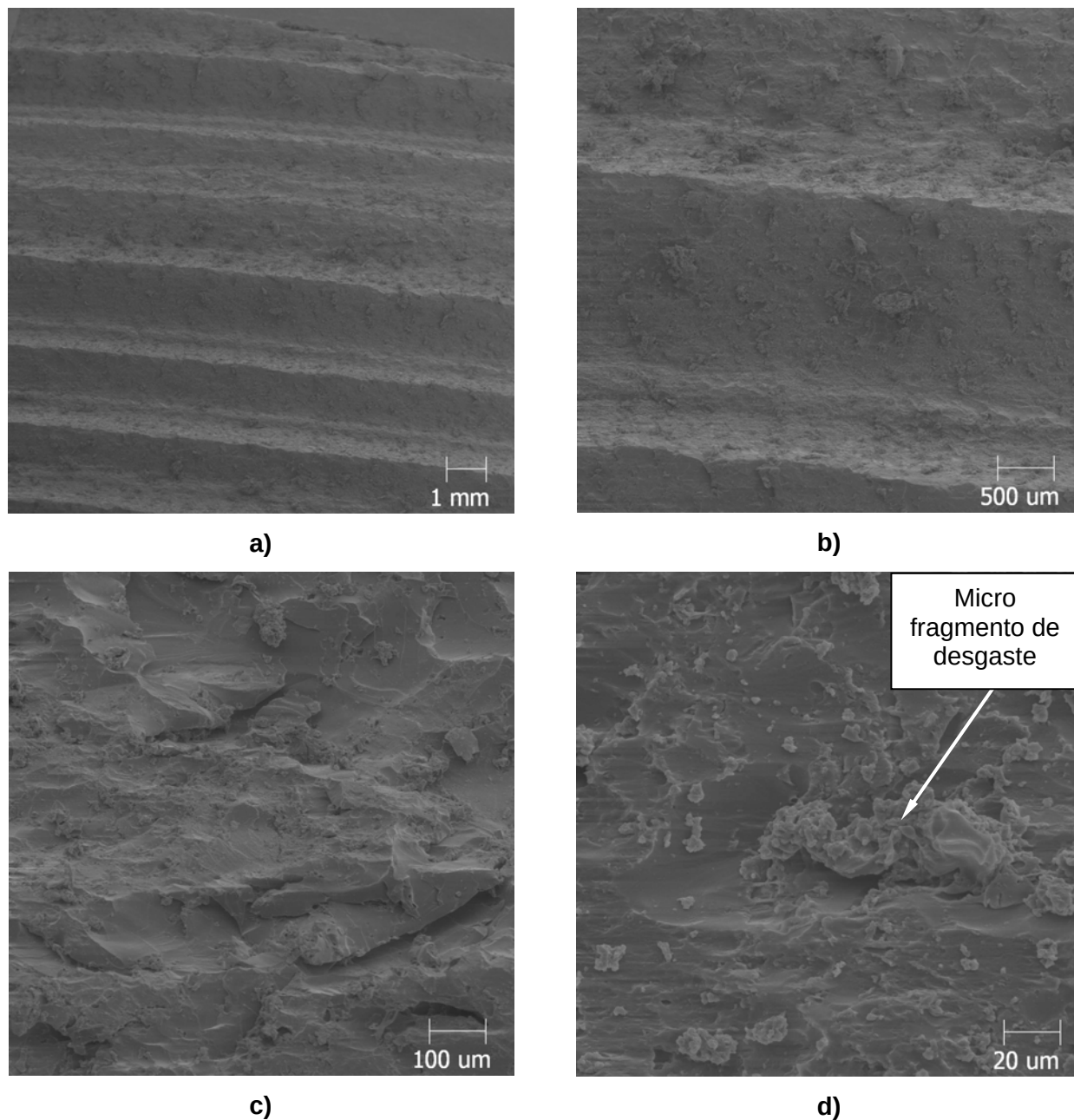


Figura 4.46 – Aspecto típico de superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a mostra PU-Ref. a) vista geral; b) detalhe dos sulcos no material; c) detalhe de trincas em um vale; d) detalhe de da superfície do material, MEV.

Para todas as amostras, é observado que os mecanismos de desgaste predominantes são microtrincas e em alguns casos cortes em maiores dimensões. Os mecanismos de desgaste observados para o ensaio DIN 53.516, inferidos das **figuras 4.29, 4.30, 4.31, 4.32 e 4.33**, retratam

a existência de microcorte, o que parece não estar presente nos ensaios SIMMC. Esse fato está, muito provavelmente, ligado à angulosidade das partículas que promovem o desgaste.

O autor deste trabalho constatou que realmente existe uma mudança de mecanismo a partir de um ângulo de ataque crítico, a partir do qual microcorte começa a predominar, (FRANCO *et al.*, 2002). Além disso, ressalta-se aqui, que os eventos de desgaste nos ensaios SIMMC são muito maiores que os observados nos ensaios abrasivos com lixa de SiC e Al₂O₃. Isso torna a comparação entre essas duas configurações de teste complicada. Assim, pode-se afirmar, que os ensaios de desgaste DIN 53.516 servem apenas como uma avaliação preliminar de materiais a serem utilizados em proteções de linhas flexíveis.

Em situações de abrasão onde se predominou microcorte (DIN 53.516, **figura 4.26** ou **4.27**), o material E-575A1 teve o melhor desempenho, enquanto o material de referência, PU-ref teve o pior desempenho. Os valores de taxa de desgaste, para essa configuração, não são direta ou inversamente proporcionais a nenhuma propriedade mecânica. Porém observa-se que o material E-575A1 (melhor desempenho) tem o maior alongamento durante o rasgo (**tabela 4.3**) e é o mais resiliente (**tabela 4.4**), mesmo tendo os menores módulos de tração a 100%, 200% e 300%. O pior desempenho (PU-Ref) tem propriedades de alongamento durante o rasgo e resiliência medianos dentre os materiais estudados, porém, tem a menor resistência ao rasgamento.

Tabela 4.8 – Taxa de desgaste para o ensaio SIMMC.

Amostra	W_{SIMMC} [mm ³ /m]
E-575A1	14.17±4.30
E-585A1	8.45±0.89
E-590A1	14.90±1.25
E-595A1	27.49±3.69
PU - Ref.	17.98±2.87

Em situações envolvendo basicamente microtrincas e fratura frágil (SIMMC) o material E-585A1 teve o melhor desempenho, enquanto o material E-595A1 teve o pior desempenho. Não houve uma correlação linear direta ou inversa com nenhuma propriedade mecânica. Porém, relacionando algumas propriedades com o desgaste, notam-se tendências. Os módulos de tração a 100%, 200% e 300% comportam-se de maneira semelhante a um polinômio de grau dois, se

relacionados com o desgaste, **figura 4.47**. A resistência ao rasgo também tem um valor médio que está relacionado com o desgaste mínimo, **figura 4.48**.

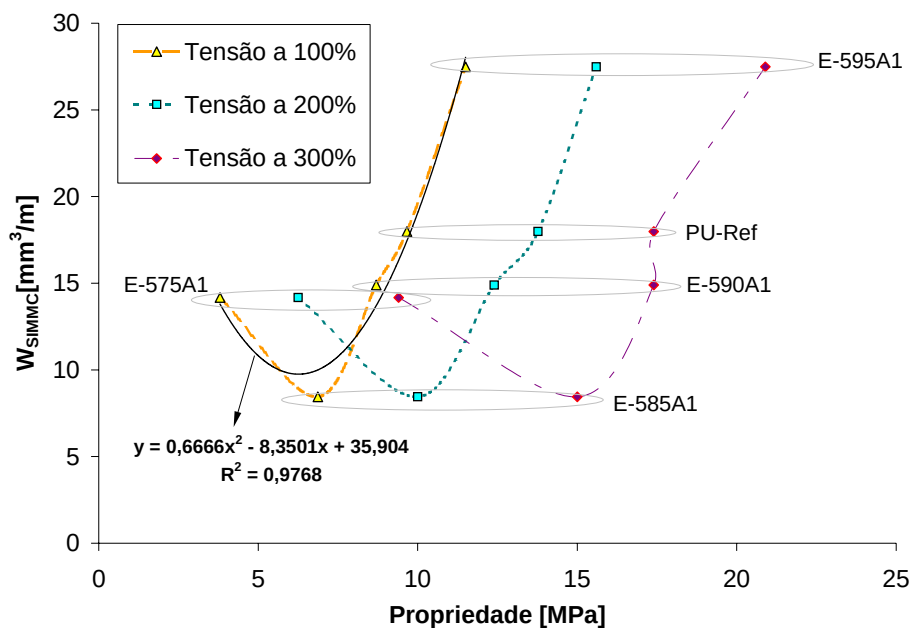


Figura 4.47 – Correlação entre os valores dos módulos à tração e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

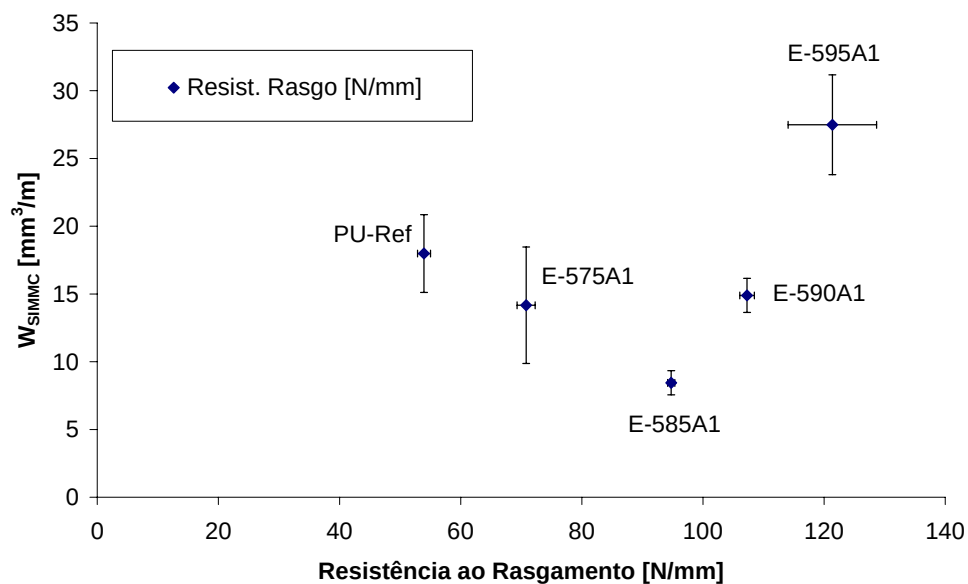


Figura 4.48 – Correlação entre os valores de resistência ao rasgamento e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

A propriedade de resistência ao rasgamento parece não interferir de maneira decisiva, pois o material de melhor desempenho tem o segundo menor valor de resistência ao rasgo do conjunto de materiais testados. Porém, observa-se na **tabela 4.3**, que parece haver um compromisso entre alongamento durante o rasgo e resistência ao desgaste, sendo de grande importância, a capacidade de alongamento. Isso fica mais evidente ao analisar o material com menor resistência ao desgaste (E-595A1). Ele tem a maior resistência ao rasgamento, mas tem o menor capacidade de alongamento.

A **figura 4.49** mostra a correlação entre os valores de alongamento máximo durante o rasgamento e o desgaste. Nela, percebe-se que existe um valor ótimo que minimiza o desgaste.

A **figura 4.50** mostra resultados de dureza em função da resistência ao desgaste SIMMC. Nela fica evidente que não há uma correlação entre essas duas propriedades.

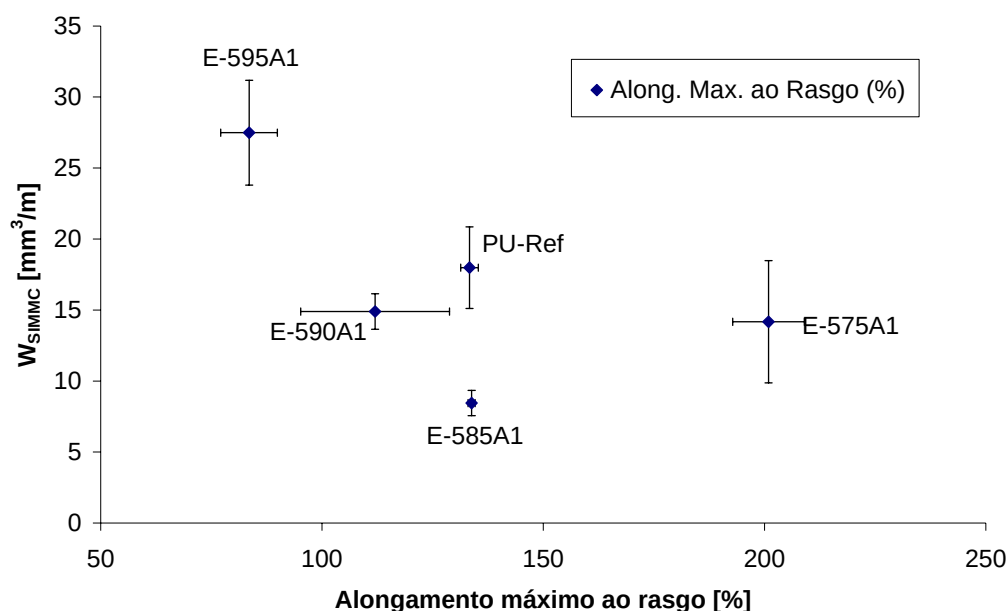


Figura 4.49 – Correlação entre os valores de alongamento máximo no rasgamento e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

As propriedades de resistência à tração e o alongamento máximo durante a tração encontram-se correlacionadas com o desgaste nas **figuras 4.51** e **4.52**, respectivamente. Os valores de resistência e alongamento, considerado os desvios são muito próximos de forma que nenhuma indicativa pode ser observada.

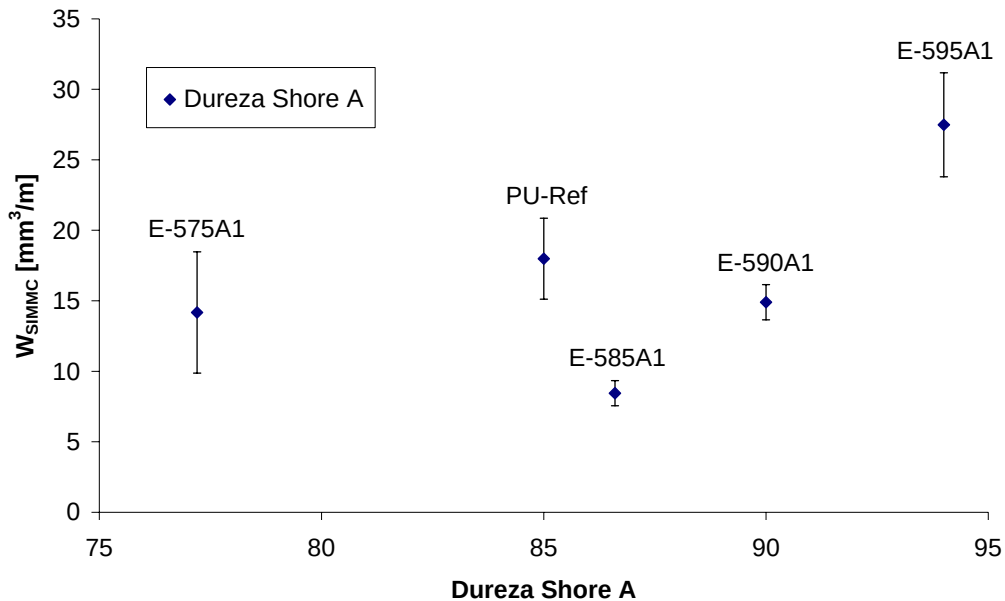


Figura 4.50 – Correlação entre os valores de dureza Shore A e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

Nota-se, na **figura 4.53**, uma tendência de materiais com alta histerese terem menor resistência ao desgaste abrasivo, principalmente para o material de pior desempenho (E-595A1). De forma que, se tratando de grandes taxas de deformação, como as que ocorrem em ângulos de ataque baixos, o aumento na resistência ao desgaste abrasivo parece estar ligada ao conjunto das propriedades para cada material.

As propriedades de resistência mecânica estão amarradas umas as outras e mostram que uma análise mais profunda deve ser feita para afirmar a influência de cada uma.

No entanto, pode-se notar que materiais que têm um bom desempenho ao desgaste abrasivo têm uma boa capacidade de alongamento e uma boa resiliência, aliadas a uma alta resistência ao rasgamento. Muito provavelmente isso influencia na formação e propagação de trincas. Como a falha nesses materiais é basicamente por microtrincas e ruptura frágil, propriedades que reprimam esses processos colaboram para uma maior resistência ao desgaste abrasivo. Isso colabora para a busca de uma relação entre propriedades mecânicas e resistência ao desgaste.

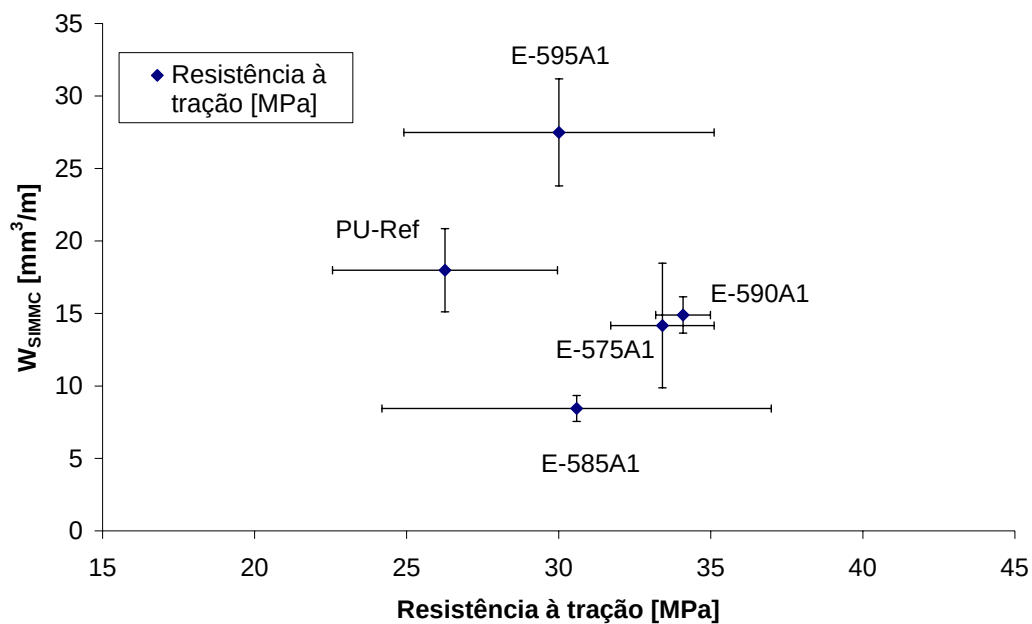


Figura 4.51 – Correlação entre os valores de resistência à tração e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

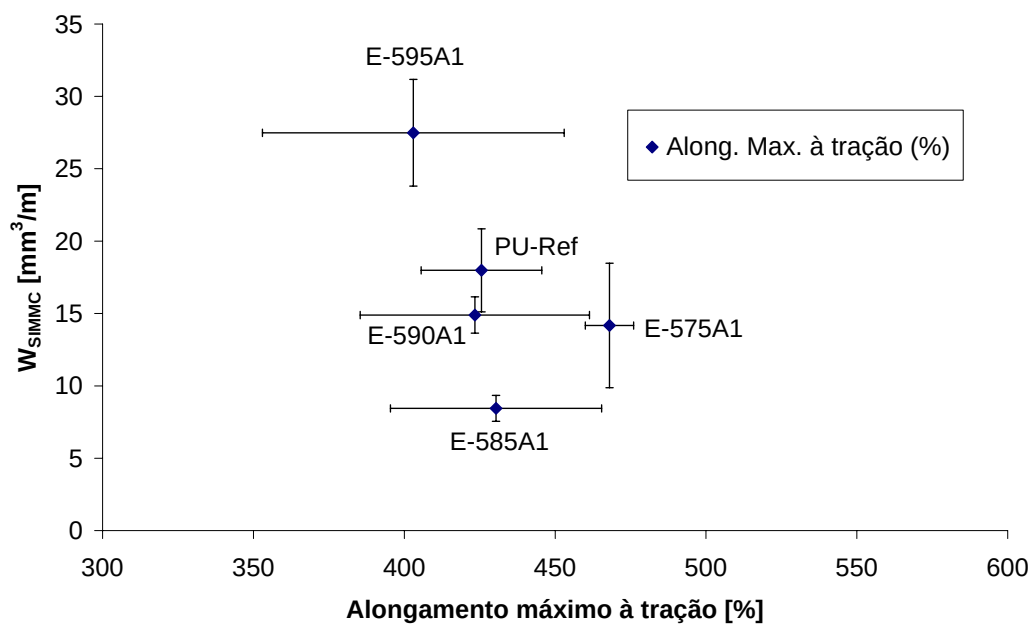


Figura 4.52 – Correlação entre os valores de alongamento máximo na tração e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

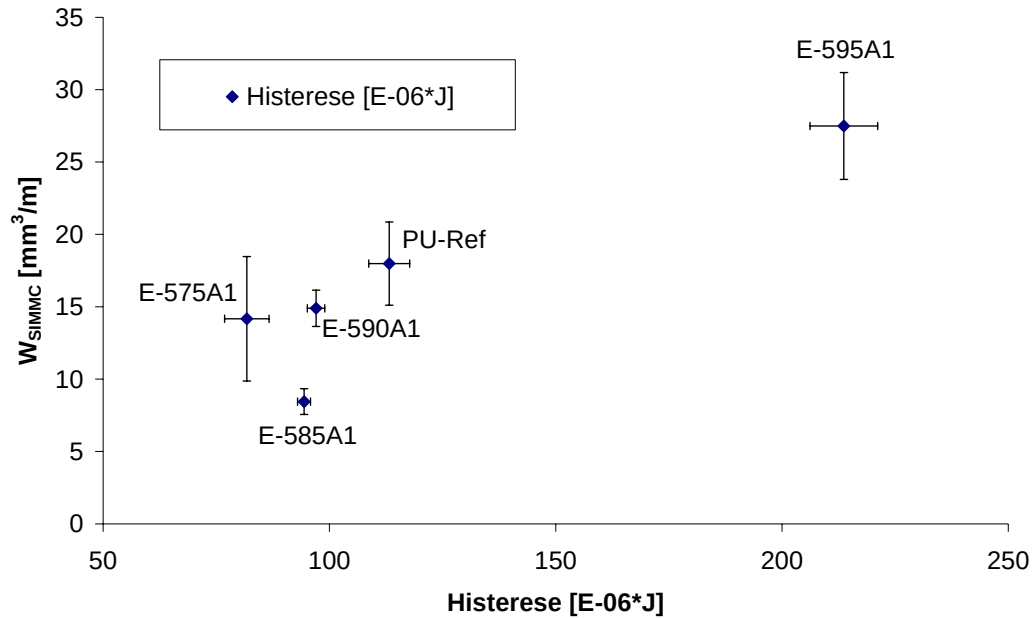


Figura 4.53 – Correlação entre os valores de histerese (IEI) e o desgaste obtido no ensaio SIMMC.

4.7 – Análise matemática dos resultados

A **figura 4.54** apresenta, em forma de gráfico de barras, as propriedades mecânicas medidas nos materiais testados, bem como os resultados de desgaste abrasivo. Pode-se observar, mais uma vez, que nenhuma propriedade correlaciona-se de forma direta com o desgaste; porém é possível notar tendências.

Alguns autores já verificaram (RATNER *et al.*, 1964, FRIEDRICH and CYFFKA, 1985), que alguma correlação entre taxa de desgaste abrasivo e propriedades mecânicas para polímeros pode ser encontrada. Porém, essa relação não parece ser tão clara, isso, porque muito mais influentes são os mecanismos de desgaste (HUTCHINGS, 1992).

Para a configuração dos ensaios realizados no presente trabalho, observa-se que os mecanismos de desgaste foram os mesmos para todos os materiais testados, alcançados a partir da escolha do ângulo de ataque dos penetradores e condições do ensaio, de forma que, a equação obtida é representativa apenas para essa configuração e esses materiais.

A princípio é razoável supor, a partir dos fenômenos que acontecem no contato, que as propriedades de resistência à tração, alongamento, resiliência, e resistência ao rasgo têm uma influência significativa na resistência ao desgaste abrasivo de materiais poliméricos.

Dessa suposição, pode-se sugerir uma equação que “carregue” a influência de cada uma dessas propriedades, mais um termo que adicione fatores de sinergia de uma propriedade sobre as outras na taxa de desgaste.

Porém, para essa abordagem deve haver uma uniformização dos valores dessas propriedades tornando-os relativos. Considerando o menor valor de cada propriedade igual a zero e o maior igual a um, pode-se ter idéia da influência de cada um sem fatores de grandezas numéricas. O mesmo procedimento foi adotado para os valores de taxa de desgaste do ensaio SIMMC. Para esses valores, à menor taxa desgaste atribuiu-se o valor zero e à maior o valor um.

A quantidade de dados de entrada restringe, numericamente, a quantidade de propriedades relacionadas na análise numérica. Na seção anterior foram apresentadas correlações de cada propriedade com o desgaste separadamente, e percebeu-se que as propriedades de dureza, resistência a tração e alongamento máximo na tração, não apresentam uma tendência clara de comportamento. Desta forma, supôs-se a linearidade da equação de influência sobre a taxa de desgaste SIMMC, utilizando-se das propriedades de resistência ao rasgo, alongamento durante ao rasgo, histerese e resiliência.

Assim é proposta a **equação 4.1**:

$$\bar{W} = a_0 + a_1 \bar{Rasg} + a_2 \bar{Along_rasg} + a_3 \bar{Hist} + a_4 \bar{Re\ sil} \quad (4.1)$$

Onde:

$\bar{W}$: Taxa de desgaste relativo, [mm³/m];

a_0 : constante que supõe resumir a influências das outras propriedades, [mm³/m];

a_1 : constante que multiplica o módulo a 100%, [mm³/(m*N)];

a_2 : constante que multiplica a resistência ao rasgo, [mm³/(m*N/mm)].

a_3 : constante que multiplica o alongamento, [mm³/(m*%)];

a_4 : constante que multiplica a resiliência, [mm³/(m*%)].

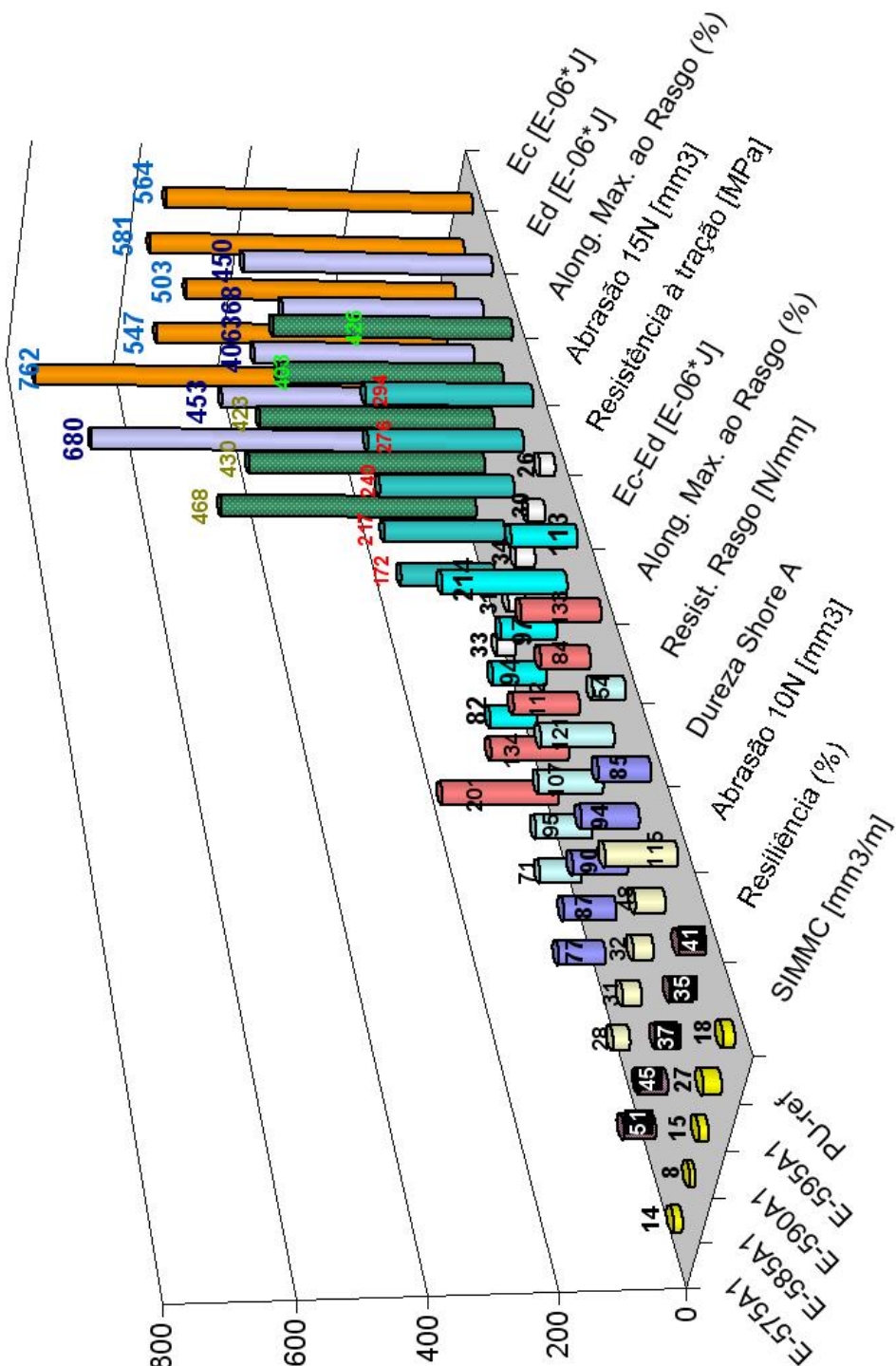


Figura 4.54 – Resultados de todos os ensaios para as amostras testadas. Cada valor representa a média para o número de ensaios determinado pela norma seguida. No caso dos ensaios de desgaste DIN, seis repetições, no ensaio SIMMC quatro repetições.

Montando um sistema linear para o conjunto de dados, pode-se escrever, matematicamente, esse problema da seguinte forma:

$$S_1 = a_0 + a_1 * E_{11} + a_2 * E_{21} + a_3 * E_{31} + \dots + a_4 * E_{n1} \quad (4.2)$$

$$S_2 = a_0 + a_1 * E_{12} + a_2 * E_{22} + a_3 * E_{32} + \dots + a_4 * E_{n2} \quad (4.3)$$

$$S_3 = a_0 + a_1 * E_{13} + a_2 * E_{23} + a_3 * E_{33} + \dots + a_4 * E_{n3} \quad (4.4)$$

...

$$S_m = a_0 + a_1 * E_{1m} + a_2 * E_{2m} + a_3 * E_{3m} + \dots + a_4 * E_{nm} \quad (4.5)$$

Onde, E_{nm} é um vetor que contém o valor relativo das propriedades para cada material; n designa a propriedade e m o material. S_m é o valor do desgaste relativo obtido no ensaio SIMMC para cada material.

Substituindo as constantes obtidas na **equação 4.1**, tem-se:

$$\overline{W} = 11,46 - 0,1053\overline{Rasg} + 1,4128\overline{Along_rasg} + 0,9907\overline{Hist} - 1,2011\overline{Re\ sil} \quad (4.6)$$

O coeficiente de correlação da **equação 4.6** (R^2) é aproximadamente igual a um, que pode ser observado na **figura 4.55**.

A **equação 4.6** supõe que o comportamento ao desgaste é dependente das propriedades relativas de resistência ao rasgo, ao alongamento máximo do ensaio de rasgamento, e histerese e a resiliência. Ela mostra o peso com que cada uma dessas propriedades contribui na taxa de desgaste para esses materiais nesse tribosistema.

A análise para essa equação deve ser feita através dos coeficientes que acompanham as variáveis. Coeficientes negativos levam a uma redução na taxa de desgaste, enquanto coeficientes positivos a aumentam, na proporção de sua grandeza.

Porém, ao se analisar a **equação 4.6**, e baseado na tendência de cada propriedade separada descrita no item anterior, percebe-se uma incoerência entre os resultados. Espera-se que a histerese tenha um coeficiente negativo, visto que, materiais mais resistentes ao desgaste têm baixa histerese. O mesmo ocorre de maneira inversa para a resiliência.

Isso indica que, a abordagem proposta de uma equação linear de relação entre as propriedades mecânicas e o desgaste, não se aproxima da relação que existe na realidade. Muito provavelmente, essa relação, na prática, deve envolver produtos cruzados ou mesmo variáveis

não lineares. Dessa forma, torna-se impossível, com a quantidade de dados de entrada disponível, propor um modelo matemático satisfatório.

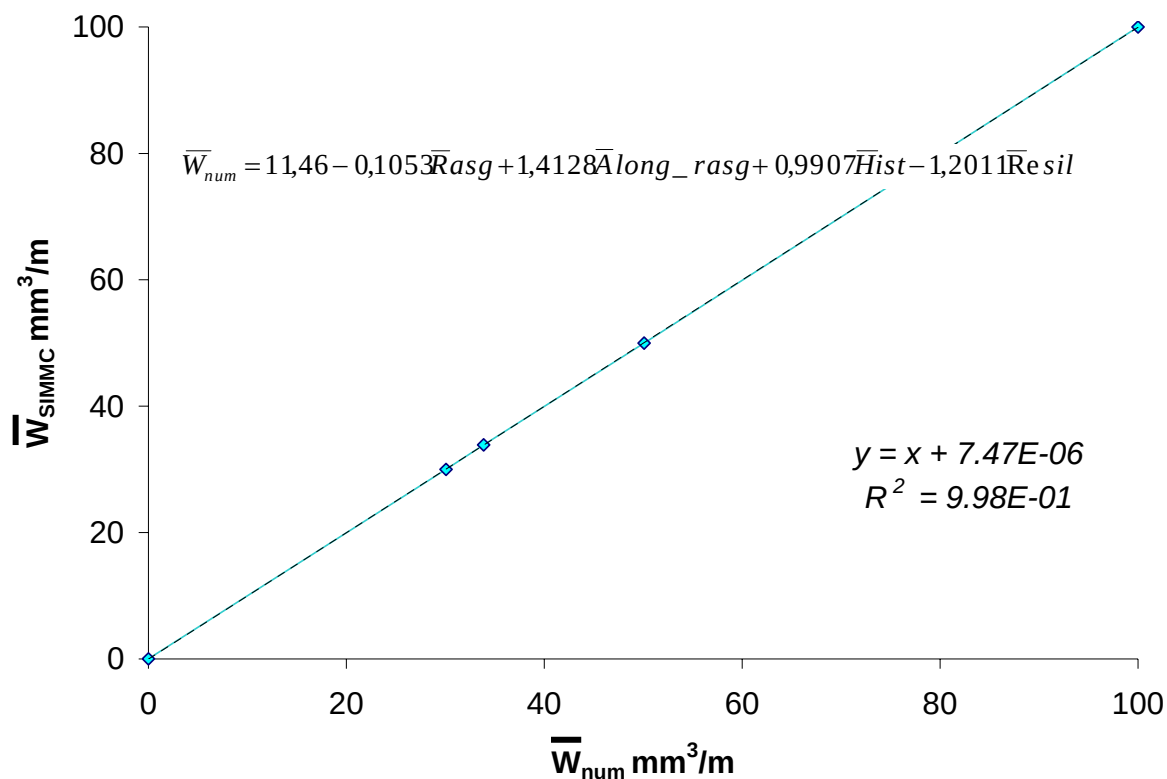


Figura 4.55 – Correlação entre os valores de desgaste calculados numericamente através das propriedades mecânicas e os valores obtidos nos ensaios SIMMC.

Capítulo V

5. CONCLUSÕES

Com o objetivo de ampliar os conhecimentos sobre desgaste abrasivo em equipamentos de proteção de linhas flexíveis foram avaliadas e abordadas em laboratório condições similares as que ocorrem durante a extração de petróleo em águas profundas.

Foram analisados os mecanismos de desgaste através de amostras de componentes que já haviam sido usados na prática e encontrou-se, mais uma vez, que a degradação desses componentes se dá, basicamente, pela ocorrência de grandes eventos de riscamento por deslizamento de partículas. Nesse processo, ocorre, predominantemente, microtrincas e ruptura frágil ao longo dos riscos.

Através de esclerometria pendular encontrou-se uma geometria que fosse capaz de reproduzir esses eventos mantendo as características tribológicas. Essa geometria foi utilizada para reproduzir tribologicamente o subsolo marítimo.

Para simular esses eventos numa condição laboratorial, foi desenvolvido, projetado e construído um equipamento que permitisse a reprodução de condições de movimento, temperatura, e também reproduzisse os mecanismos de desgaste em secções nesses componentes. Esse equipamento foi denominado Simulador de Interações Marítimo Mecânicas em Calhas (SIMMC), que reproduziu satisfatoriamente os mecanismos nas calhas atualmente utilizadas na proteção de linhas flexíveis. A parametrização do ensaio indicou que a melhor velocidade média de deslizamento na amostra para o ensaio é de 83 mm/s (conseguida configurando o inversor de frequência em 20 Hz) e a carga ótima de 500 N. A quantidade de ciclos foi fixada em 1000 para um pré-teste (eliminação do regime não permanente de desgaste) e mais 1000 ciclos para o ensaio final.

Na sequência, foram fabricadas amostras de quatro poliuretanos (MDI-BD). Esses novos materiais e o material utilizado atualmente em proteções foram caracterizados segundo testes de tração, alongamento, resistência ao rasgo, resiliência, densidade, dureza e abrasão DIN 53.516. Foi realizado ainda um ensaio de desgaste abrasivo semelhante ao DIN 53.516 via úmida e com carga de 15N. Todos os materiais foram ensaiados no equipamento SIMMC. Os resultados obtidos permitem concluir, que:

- A classificação obtida foi um pouco diferente daquela indicada no ensaio de desgaste DIN 53.516. Observa-se que os mecanismos de desgaste gerado nos ensaios DIN 53.516 são basicamente, microcorte e microsulcamento, diferente daqueles observados no ensaio SIMMC, que são microtrincas com rompimento por fratura frágil;
- Uma análise dos micromecanismos de desgaste é determinante antes de qualquer busca de correlação entre propriedades mecânicas e resistência ao desgaste;
- Em condições de corte, materiais que se alongam mais durante o rasgo têm um melhor desempenho vinculado a uma boa resistência ao rasgamento. No ensaio DIN 53.516 o material E-575A1 teve o melhor desempenho, enquanto o material de referência, PU – Ref teve o pior desempenho;
- Em casos de basicamente microtrincas e rompimento por fratura frágil, quando se trata de grandes taxas de deformação, como as que ocorrem em ângulos de ataque baixos parece existir uma combinação das propriedades mecânicas de forma a otimizar a propriedade de resistência ao desgaste. Nessas condições propriedades de deformação e resistência ao rasgo são muito importantes, e a histerese parece também influenciar na classificação. Materiais de baixa histerese são mais resistentes ao desgaste abrasivo. Para o ensaio SIMMC o material E-585A1 teve o melhor desempenho, enquanto o material E-595A1 teve o pior desempenho. Não houve, para esse tribosistema, uma correlação linear direta ou inversa com nenhuma propriedade;
- A resiliência também exerce um papel importante em ambos os casos;
- O material E-585A1 (melhor desempenho) tem o segundo maior alongamento, é o segundo mais resiliente e tem o segundo menor módulo de tração a 100%, 200% e 300%. Em contra partida, o material E-595A1 (pior desempenho), é o menos resiliente, apresentou o menor alongamento, tem o maior módulo de tração a 100% e maior resistência ao rasgo;
- Isso leva a um entendimento que a análise isolada da resistência ao rasgo não é determinante para escolha de um material com boa resistência ao desgaste abrasivo num tribosistema produzido pelo SIMMC. As propriedades de resistência mecânica estão amarradas umas as outras e mostram que uma análise mais profunda deve ser feita para afirmar a influência de cada uma. No entanto, pode-se notar que materiais que têm um bom desempenho ao desgaste abrasivo têm uma

boa capacidade de alongamento durante o rasgo e uma alta resiliência, aliado a uma boa resistência ao rasgamento;

- Muito provavelmente, isso influencia na formação e propagação de trincas. Como a falha nesses materiais é basicamente por microtrincas e ruptura frágil, propriedades que reprimam esses processos colaboram para uma maior resistência ao desgaste abrasivo;
- Através de uma abordagem matemática obteve-se uma equação linear que relaciona valores relativos de propriedades mecânicas e a taxa de desgaste do ensaio SIMMC. A análise dos coeficientes que acompanham cada propriedade mostra que essa equação não é representativa da condição real. Alguns coeficientes contradizem a tendência da relação do que acontece na prática. Muito provavelmente essa relação não é tão simples e envolve variáveis não lineares ou mesmo produtos cruzados de propriedades;

Capítulo VI

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões com o objetivo de otimizar a técnica de seleção de materiais para a aplicação apresentada nessa dissertação segue-se alguns itens:

- Modificação no equipamento para que haja um deslocamento dos penetradores também na direção perpendicular ao risco de modo a gerar sulcos/riscos em toda região ensaiada e não de dois em dois mm, como processado anteriormente. O esquema dessa modificação pode ser observado na **figura 6.1**, e um ensaio preliminar nessa configuração, na **figura 6.2**.
- Verificação da correlação do desgaste para vários diâmetros de calha. Se existir possibilidade, encontrar uma equação que correlaciona esses parâmetros.
- Formulação de novos materiais que possam ser aplicados nessas condições otimizando custo e resistência.
- Testar outros materiais para gerar um modelo matemático mais abrangente quanto a propriedades e relações entre elas.

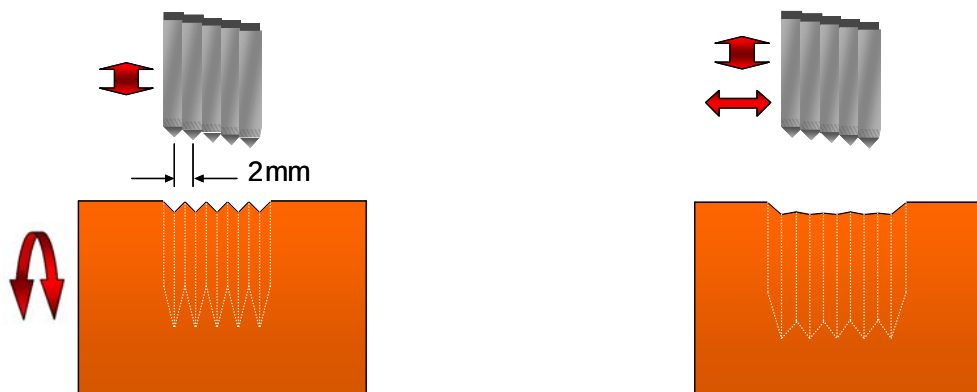


Figura 6.1 – Esquema de mudança de movimentação do conjunto de penetradores para que exista uma diminuição do tamanho dos picos e vales formados durante o ensaio.



Figura 6.2 – Vista geral de uma calha testada com a nova cinemática do SIMMC, ou seja, 1.000 ciclos de pré-teste e 1.000 ciclos de teste. Notar remoção uniforme de material.

- Submeter novas calhas, bem como, as já estadas a testes de hidrolise e, na seqüência, a ensaios de desgaste abrasivo. Espera-se dessa forma, poder identificar a susceptibilidade dos materiais testados a alterações induzidas pela exposição a pressões de 200 bar e temperaturas de até 80°C. Sugere-se ainda, que essas alterações sejam avaliadas através de ensaios de caracterização estrutural, tais como: espectroscopia no infravermelho, composição química (MEV-EDS), análise termogravimétrica, etc.

Capítulo VII

Referências Bibliográficas

- ARCHONDOULI, P. S and KALFOGLOU, N. K., 2001, "Compatibilization and properties of PBT/PU polymeric alloys", *Polymer*, v 42, pp 3489-3502.
- ARNOLD, J. C., and HUTCHINGS, I.M., 1992, "A model for the erosive wear of rubber at oblique impact angles", *Jornal Phys. D Appl. Phys.*, v 25, pp A222-A229.
- ASTM D 2231 Dynamic mechanical properties - Forced vibration of rubber Test
- ASTM D 3574 Tensile Strength
- ASTM D-1621, ASTM D 575 Compression test Strength
- ASTM D2240 – "Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness"
- ASTM D2632 – Vertical Rebound Tester Resiliometer
- ASTM D3574-03 – Standard Test Methods for Flexible Cellular Materials
- ASTM D412 – "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers – Tension"
- ASTM D624 – "Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers"
- ASTM D792 – "Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement".
- B. J. BRISCOE, 1998, "Isolated contact stress deformations of polymers: the basis for interpreting polymer tribology", *Tribology International*, v 31, pp 121-126.
- BECK, R.A. and TRUSS, R.W., 1998, "Effect of chemical structure on the wear behaviour of Polyurethane-urea elastomers", *Wear*, v 218, pp 145-152.
- BHOWMICK, A. K., 1982, *Rubber Chem. Technol.*, v 55, pp 1055.
- BRISCOE, B.J., 1998, Isolated contact stress deformations of polymers: the basis for interpreting Polymer tribology, *Tribol. Int.*, v. 31, pp 121–126.

- BRISCOE, B.J., EVANS, P.S., PELILLO, E., SINHA, S.K, 1996, "Scratching maps for polymers", *Wear*, v 200, pp137–147
- BRISCOE, B. J., 1981, "Wear of polymers - an essay on fundamental-aspects", *Tribology International*, v 14, pp 231-243.
- BRISCOE, B. J., DELFINO, A., PELLILLO, E., 1999, "Single-pass pendulum scratching of poly styrene and poly methylmethacrylate", *Wear*, v. 225–229, pp. 319–328.
- BRYGGMAN, V. HOGMARK, S. AND VINGSBO, O., 1979, "Evaluation of Abrasion by Means of controlled Grooving", *Proc. of the IV Int. Abrasion Colloquium*, Grenoble, 5.1-5.14.
- BRYGGMAN, V. HOGMARK, S. AND VINGSBO, O., 1985, "Mechanisms of Gouging Abrasive Wear of Steel Investigated with the Aid of Pendulum Single Pass Grooving", *Proc. of the Intern. Conf. on Wear of Materials*, Canadá, 324-331.
- S. BOUFI, A. GANDINI AND M. N. BELGACEM, 1995, "Urethanes and polyurethanes bearing furan moieties: 5. Thermoplastic elastomers based on sequenced structures", *Polymer*, V. 36, Issue 8, pp 1689-1696.
- BUDINSKI, K. G. 1997, "Resistance to particle abrasion of select plastics", *Wear*, v.203-204, pp302-309.
- CARDOSO, F. C., 2004, "Desenvolvimento do Sistema de Instrumentação e Controle de um Macroindentador Portátil para Avaliação de Propriedades Mecânicas de Dutos", *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 70 pg.
- CARDOSO, F. C., SOARES, A. B., RAMOS NETO, F. F. , PAES, M. T. P. , FRANCO, S. D., 2005, "Desenvolvimento do Sistema de Instrumentação e Controle de um Macroindentador Portátil para Avaliação de Propriedades Mecânicas de Dutos", *Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos 7 a 10 de Junho de 2005 – Bahia Othon Palace 8ª COTEQ*.
- CZICHOS, H. and HABIG, K. H., 1992, "Tribologie Handbuch – Reibung und Verschleiß", *Vieweg Verlag*, Braunschweig, 560 pg.
- DE MELLO, J. D. B., 1983, "Struture Metalurgique et Caracterization de l'Abrasion dès Fontes Blaches au Chrome", *Tese de Doutorado*, L'Institute National Polytechnique de Grenoble.
- DE MELLO, J.D.B. AND FRANCO, S.D., 1994; "On the Abrasive Wear of Al-Si Alloys, Problemes d'usure et Matériaux resistants a l'usure", *Sain-Étienne*, pp.14.1-14.15.

- DELAWARE, W., 1957, "A Linguagem da Borracha" E. I. Du Pont de Nemours & CO. (Inc.) Elastomer Chemicals Department, (Revisto, Janeiro, 1963) U.S.A.
- DEMARCHI, V., 1994, "Estudo de Materiais, Geometria e Compatibilidade dos Tribossistemas em Anéis de Pistão para Motores de Combustão Interna". Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- DIN 53512 – "Testing of rubber - Determination of rebound resilience (Schob pendulum)"
- DIN 53516 – "Testing of rubber and elastomers; determination of abrasion resistance"
- DOS SANTOS, R. E., 2004, Certificado de Ensaio LCP 04-000281, "Caracterização de Borrachas", CCDM – Universidade Federal de São Carlos.
- EYRE, T. S., 1976, "Wear Characteristics of Metals", Tribology International, v 10, pp203-212.
- FALKNER, D. L., WYSGOSKI, M. G. and MYERS, M. E. (1983), "Polyurethane Aging in Water and Methanol Environments", pp173-191.
- FERREIRA, M., REBELLO, J. M. A. e TELLES, B., 2002, "Caracterização de Materiais Poliméricos Utilizados como Revestimento Externo de Dutos Flexíveis (Risers, Flow Line, TDP)", Relatório técnico n.º: PEMM-2656.
- FINKIN, E.F., 1978, "An Explanation of the Wear of Metals", Wear, v.47, pp107-117.
- FRANCO, S.D. E DE MELLO, J.D.B., 1992, "An investigation of the abrasive wear of Al-Si alloys with the aid of Upsala's pendulum". Mat. Sci. and Eng., A154,175-181.
- FRANCO, S.D., 2001, "Desgaste Abrasivo da Capa Polimérica Externa de Linhas Flexíveis", Uberlândia, relatório interno, 60 pgs.
- FRANCO, S.D., 2002, "Avaliação da Resistência ao Desgaste Abrasivo de Elastômeros – Parte II", Uberlândia, relatório interno, 54 pgs.
- FRIEDRICH, K. and CYFFKA, M., 1985, "On the wear of reforced thermoplastics by different abrasive papers", Wear, v. 103, pp 333-344.
- FRIEDRICH, K., 1986, "Erosive Wear of Polymer Surfaces by Steel Ball Blasting", J. Mater. Sci., v 21, pp 3317-3332.
- GUIZZO, T., 1999, "Laços de Histerese Elastoplásticos Gerados sob Carregamentos Complexos", Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- HALLING, J., 1975, "A contribution to the Theory of Mechanical Wear" Wear, v. 34, pp 239-249.

HAWARD, R. N., 1993, *Macromolecules*, v 26, pp 5860-5869.

<http://pcc2339.pcc.usp.br/arquivos2003/Durabilidade%20de%20polímeros.pdf>, agt. 2003.

<http://www.Petrobras.com.Br/portugue/deep/index.htm>, julho/2003.

HUTCHINGS, I. M., AXÉN, N. and JACOBSON, S., 1996, "A model for the friction of multiphase materials in abrasion". *Trib. Int.*, v 29, 467-475.

HUTCHINGS, I. M., DEUCHAR, D. W. T. and MUHR, A. H., 1987, "Erosion of unfilled elastomers by solid particle impact", *J. Mater. Sci.*, v 22, pp 4071-4076.

HUTCHINGS, I.M., 1992, *Tribology. "Friction and Wear of Engineering Materials"*, 1^a ed. Arnold, London, 273 pg.

ISO 3386 Compression stress

JOST, H. P., 1966, "Lubrication (Tribology) – A Reporter of the Present Position and Industry's Needs" Dep. of Education and Science, H. M. Stationary Office, London.

JUNIOR, D.L. K., 2003, "Análise Dinâmica de Linhas Flexíveis com Elemento de Pórtico não Linear Geométrico Híbrido", *Dissertação de Mestrado Eng. Civil UFRJ*, 275 pgs.

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.

KIMURA, Y.; SUGIMURA, J., 1984, "Microgeometry of Sliding Surfaces and Wear Particles in Lubricated Contact", *Wear*, v. 100, pp 33-45.

KOUDINE, A. A., LAMBERT M., BARQUINS M., 1997, "Some new experimental results on the Schallamach waves propagation by space-time analysis", *Int. J. Adhesion and Adhesives*, v. 17, 359 363.

KURACHENKOV, V. N., KIZHAEV, S. A., LETUNOVSKII, M. P., STRAKHOV, V. V., ANISIMOV, V. N., EGOROV, S .F., 1990, *Sov. J. Friction Wear*, v 11, pp 132-135.

LAMY, B., 1982, "Contribution a l'etude phenomenologique de l'elevation de matiere et de la deformation des surfaces antagonistes dans lês processus d'abrasion", *Tese de Doutorado*, Univerité de Haute Alsace, França.

LAMY, B., 1989, *Tribology International*, v 17(1), pp 35–38.

LARSEN-BASSE, J. and TADJVAR, A., 1988, "Slurry Abrasion of Polymers Under Simulated Submarine Conditions*", *Wear*, v 122, pp 135-149.

- LAWN, B. R. and FULLER, E. R., 1975, "Equilibrium penny-like cracks in indentation fracture", Jour. of Mat. Sci., v. 10, pp 2016-2024.
- LI, J., HUTCHINGS, I. M., 1990, "Resistance of cast polyurethane elastomers to solid particle erosion", Wear, v 135, pp 293-303.
- LIU, J. , 1966, "Modellversuche zur Drehbearbeitung metallischer Werkstoffe", Dr.-Ing. Thesis, Ruhr-Universitaet Bochum.
- LUDEMA, K. C., 1996 , "Friction, Wear, Lubrication - A Textbook in Tribology". CRC Press, Boca Raton FL, 1996, 257 pp.
- MANO, E. B. ,1991, "Polímeros como Materiais de Engenharia" 3ª edição 198 pgs.
- MARDEL, J. I., CHYNOWETH, K. R., SMITH, M. E., JOHNSON, C. H. J., BAS-TOW, T. J., HILL, A. J., 1994, Materials Science Forum.
- MEIJER, H.E.H, GOVAERT, L.E., SMIT, R.J.M., 2000, Toughening of plastics. Advances in modelling and experiments, ACS Symp. Ser. 759, pp 50-70.
- MERGLER, VAN KAMPEN, Y.J., R.J., NAUTA, W.J., SCHAAKE R.P., RAAS B., VAN GRIENSVEN, J.G.H., MEESTERS, C.J.M., 2005, "Influence of yield strength and toughness on friction and wear of polycarbonate", Wear, v 285, pp 915-923.
- MISRA, A. and FINNIE, J., 1980, "A classification of three-body abrasive wear and design of a new tester", Wear, v.60, pp 11-121.
- MISRA, A. and FINNIE, J., 1982, "A Review of the Abrasive Wear of Metals", Trans. Of the ASME., v 104, pp 94-101.
- MOTA, L. A. C., 2002, "Durabilidade dos Polímeros", Monografia (Trabalho de Disciplina) - PCC 5726: Princípios da Ciência dos Materiais Aplicados aos Materiais de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São, São Paulo, 71pgs, disponível em: <http://pcc2339.pcc.usp.br/A08Plasticos.htm>.
- MULHEARN, T. O., SAMUELES, L. E., 1962, "The abrasion of metals: A model of the process", Wear, V. 5, pp 478-498.
- MÜTZENBERG, L. A., VEIT, E. A. e SILVEIRA, F. L., 2004, Elasticidade, plasticidade, histerese... e ondas, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 4, p. 307 – 313.
- NBR 8515 – Resistência a Tração em Espumas Flexíveis de Poliuretano

NBR 8516 – Resistência ao Rasgamento de Espumas Flexíveis de Poliuretano

NBR 8619 – Resiliência em Espumas

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.

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A., PROCAP 3000 a Próxima Fronteira. Disponível em: http://www2.petrobras.com.br/minisite/aguas_profundas/procap/SistRisesflex.stm, Jul. 2003.

RAMOS NETO, F. F., 2003, "Desgaste Abrasivo em Materiais Poliméricos Utilizados na Proteção de Linhas Flexíveis de Condução de Petróleo", Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 175 pg.

RATNER, S. B., FARBEROVA, I.I., in: James, D.I., 1964(Ed.), Abrasion of Rubber, MacLaren and Sons, London, 1967.

SEDRIKS, A. J. and MULHEARN, T. O., 1964, "The effect of work-hardening on the mechanics of cutting in simulated abrasive processes", Wear, v. 7, pp 451-459.

SHALLAMACH, A., 1971, "How does rubber slide?", Wear, v. 17, pp 301-312.

SILVA, A., 2003, "Os Materiais no Projecto Mecânico" (aulas práticas), <http://www.dem.ist.utl.pt>.

SODERBERG, S., BRIGGMAN, V. AND CAANLES, A., 1985, "Influence of Precipitation and Solution Strengthening on Abrasive Wear Resistance", Proc. of the Intern. Conf. on Wear of Materials, Canada, 645-653.

SOUTHERN, E. and THOMAS, A. G., 1978, Plastic Rubber: Mater. Appl. V 3, pp 133-138.

SZUDER, A., 1977, "Contribution Experimentale a l'étude du Rodage Plan", dissertation Université Claude Bernad-Lyon.

THORP, J.M., 1982, "Abrasive wear of some commercial polymers", Tribology international, v 0301, pp 59-67.

TROFIMOVICH, A. N., ANISIMOV, V. N., KURACHENKOV, V. N., STRAKHOV, V. V., LETUNOVSKII, M. P., EGOROV, S .F., 1987, Sov. J. Friction Wear, v 8, pp 87-92.

UCHIYAMA, Y., ISHINO, Y., 1992, "Pattern abrasion mechanism of rubber", Wear, v 158, pp 141-155.

- UETZ, H. and FÖHL, J., 1969, "Gleitverschleissuntersuchungen an Metallen und nichtmetallischen Hartstoffen unter Wirkung Körniger Stoffe", Braunkohle, Wärme und Energie, v. 21, pp 10-18.
- UETZ, H., 1986, "Abrasion und Erosion", München and Wien, Carl Hanser Verlag, pp.468-533.
- VILAR, D. W., 2002, "Química e Tecnologia dos Poliuretanos" 3a. edição atualizada 400 pg.
- WAHL, H., 1951, "Verschleissprobleme im Braunkohlenbergbau", Braunkohle, Wärme und Energie, 5/6, pp 75-87.
- WELLINGER, K., UETZ, H., 1955, "Gleitverschleiss, Spülverschleiss, Strahl verschleiss unter der Wirkung von Körnigen Stoffen", VDI-Forschungheft 449B, Bd.21.
- WU, S., 1990, "Chain Structure, Phase Morphology and Toughness Relationship in Polymers and Blends.", Polym. Eng. Sci. 30 753–761.
- ZUM GAHR, K. H., 1987, "Microestruture and Wear of Materials", Amsterdam, Elsevier, 560 pg.
- ZUM GAHR, K. H., 1981, "Formation of wear debris due to abrasion", 3rd International Conference on Wear of Materials, ASME, Dearborn, USA, pp 396-405.

