

Tema: Materiais cerâmicos, compósitos e poliméricos

## CONFEÇÃO DE SELO MECÂNICO DE VEDAÇÃO PARA EIXO DE HÉLICES DE BARCOS USANDO EBONITE\*

Baltus Cornelius Bonse<sup>1</sup>  
João Paulo Sardinha<sup>2</sup>  
Ana Clélia Babetto Ferreira<sup>3</sup>  
Eliseu William de Souza<sup>4</sup>

### Resumo

Foi desenvolvido um composto de elastômeros termorrígido (ebonite) para a fabricação de um selo mecânico de vedação de hélices de barcos, para substituir os modelos comumente encontrados de cerâmico, que possuem alto custo e são fabricados no exterior, e de borracha com face em Teflon®, que apresentam problemas de adesão na linha de junção entre estes materiais, resultando em vazamentos. O composto de elastômeros deveria possuir dureza em torno de 90 Shore D, baixo coeficiente de atrito, resistência térmica, a abrasão e a intempéries marítimas, ao ataque de radiação UV e ser autolubrificante. A formulação que resultou no melhor produto consistia das borrachas natural, nitrílica, nitrílica carboxilada, e fluorada (Viton®), aditivadas com alto teor de enxofre (37,5 phr), cargas reforçantes, plastificantes e lubrificantes sólidos, entre outros aditivos. A aditivação e mistura das borrachas foram realizadas em misturador interno Banbury e misturador de cilindros aberto, enquanto a conformação e vulcanização dos corpos de prova e dos selos foram realizadas por prensagem a quente. Foram realizadas análises de curva reométrica, morfológicas por microscopia eletrônica de varredura, de resistência à tração, rasgo, dureza e de abrasão em torno mecânico simulando a pressão de vedação em atrito com o aço inox girando a 800 rpm. O êxito do selo ficou evidente, pois após a montagem em barcos, durante um ano tem realizado com sucesso a sua função.

**Palavras-chave:** Formulação de borrachas; Selo mecânico de vedação; Eixo de hélice de barco; Ebonite.

### FABRICATION OF A BOAT PROPELLER SHAFT SEAL IN EBONITE RUBBER

#### Abstract

An elastomeric thermoset compound has been developed for the manufacture of a boat propeller shaft seal to replace the commonly encountered ceramic models, which are expensive and manufactured abroad, and the Teflon lined rubber ones, which present adhesion problems at the joint between these materials, resulting in leaks. The elastomeric compound should have hardness about 90 Shore D, low coefficient of friction, heat, abrasion, sea water, weather and UV resistance and be self-lubricating. The formulation providing the best results consisted of natural, nitrile, carboxylated nitrile, and fluoro (Viton®) rubbers, containing high sulfur levels (37.5 phr), reinforcing fillers, plasticizers and solid lubricants, among other additives. Rubber compounding and mixing were accomplished in an internal Banbury mixer and two-roll mill, whereas shaping and vulcanization of specimens and seals were carried out by hot pressing. The following analyses have been performed: rheometric curve, morphology by scanning electron microscopy, tensile and tear strength, hardness and abrasion in a lathe simulating the seal pressure during friction against the stainless steel shaft rotating at 800 rpm. The success of the seal was evident because after mounting in boats it has successfully performed its function for over a year.

**Keywords:** Rubber compounding; Seal; Boat propeller shaft; Ebonite

<sup>1</sup> *Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais, Prof. Dr., Departamento de Materiais, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.*

<sup>2</sup> *Tecnólogo em Polímeros, Faculdade Senai de Tecnologia Ambiental, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.*

<sup>3</sup> *Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Professora, Curso Superior de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia Ambiental, Escola Senai Mario Amato, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.*

<sup>4</sup> *Mestre em Ciência, Professor, Curso Superior de Tecnologia em Polímeros, Faculdade de Tecnologia Ambiental, Escola Senai Mario Amato, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*



## 1 INTRODUÇÃO

O selo mecânico de vedação é uma peça com a finalidade de estancar fluidos de modo a reter o mesmo em seu interior enquanto a sua superfície de contato e de vedação em repouso atrita com uma superfície de maior dureza em movimento rotacional. A função de estanque do selo está em não permitir que o fluido ultrapasse pelo ponto de junção da peça estática e da peça em movimento. São usados, por exemplo, em bombas centrífugas, bombas hidráulicas e reatores, onde um eixo rotativo atravessa seu corpo [1].

O selo mecânico de hélices de barcos comumente utilizado é o modelo cerâmico, que possui alto custo e é fabricado no exterior. Um problema existente é a qualidade de sua vedação. Isto ocorre em função de fissuras ocorridas devido à sua constituição com materiais de alta dureza, que não resistem a impactos e choques térmicos, além de variações dimensionais ou pequenas deformações que ocorrem em partes metálicas do eixo, que diminuem o contato com o selo, comprometendo a vedação do sistema. Selos mecânicos confeccionados em borracha com face em teflon, que é outro modelo, apresentam problemas de adesão na linha de junção entre estes materiais, resultando em vazamentos neste ponto.

Portanto, torna-se necessário melhorar o desempenho mecânico e a estanqueidade de selos mecânicos de vedação de hélices para barcos confeccionados em cerâmicos e multimatérias, sem elevar custos de produção. Uma possível solução é a elaboração de uma formulação de um composto de termorrígido com cargas de reforço, lubrificantes sólidos e com durezas próximas às aquelas encontradas no anel de Teflon. Entendeu-se que o novo selo também deveria possuir dimensões semelhantes às aquelas encontradas no selo de cerâmica, não sendo necessárias adaptações no restante do conjunto que compõem o sistema já existente nas embarcações, facilitando a manutenção e substituição da peça proposta.

Ebonite é uma borracha muito dura, rígida e brilhante, obtida pela vulcanização da borracha natural por períodos prolongados, com cerca de 30 a 40 por cento de enxofre, concebida como um substituto artificial para a madeira de ébano. Atualmente utilizam-se elastômeros sintéticos em uso conjunto com a borracha natural para obtenção de ebonite com melhores propriedades de resistência mecânica, térmica, à radiação UV, e ao ataque de produtos químicos como ácidos, bases fortes, óleos e solventes orgânicos [2, 3].

Para alcançar o objetivo do presente trabalho, desenvolveu-se um composto à base de ebonite e cargas minerais para a fabricação de selos de vedação mecânica e caracterizar o composto a fim de avaliar as propriedades de resistência mecânica, térmica e intempéries marítimas.

Foram desenvolvidas formulações de ebonite com modificadores de propriedades mecânicas e de lubrificação em função das solicitações exigidas na aplicação. Em seguida realizou-se a caracterização dos compostos por meio das técnicas: reometria, ensaios de tração, rasgo e dureza. O molde em aço e o selo mecânico com a formulação de maior desempenho foram produzidos e o produto foi testado funcionalmente em bancada e em barcos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para execução do estudo foram utilizadas matérias primas fornecidas pela empresa Rubbercity Artefatos de Borracha. Foram preparadas duas formulações conforme o Tabela 1. As matérias primas, menos agentes de cura e aceleradores (para evitar

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



cura prematura), foram adicionadas a um misturador interno Banbury, conforme as etapas na tabela [3]. Após a mistura completa removeu-se a massa e adicionaram-se os aceleradores e agentes de cura em misturador aberto de dois cilindros e passou-se a manta de borracha enrolada em forma de charuto seis vezes entre os roletes, que é suficiente para uma homogeneização completa. Removeu-se a manta de borracha e depositou-se a mesma em uma bancada de alumínio para um rápido resfriamento e descanso da massa.

**Tabela 1.** Formulações testadas para a manufatura de um selo mecânico de ebonite

SEQUENCIA DE MISTURA	PROCESSO DE PESAGEM MÁTERIAS-PRIMAS	FORMULAÇÕES DE EBONITE		
		1º FORMULA EBONITE / GRAFITE	2º FORMULA EBONITE / VITON / GRAFITE	
ETAPA 1	<b>BORRACHAS</b>	phr ou pcr	phr ou pcr	
	NATURAL IR	83,333	78,100	
	NBR	16,667	15,600	
	VITON	-----	4,000	
	CARBOX Nitriclean 3350X	-----	2,300	
	<b>INIBIDOR</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	<b>TOTAL</b>
	PVI (Santogard)	0,833	0,833	
	<b>AGENTES DE CURA</b>	<b>0,833</b>	<b>0,833</b>	<b>TOTAL</b>
	ENXOFRE	40,000	37,488	
	ÓXIDO DE MAGNÉSIO	-----	0,156	
ETAPA 2	<b>ATIVADORES</b>	<b>40,000</b>	<b>37,644</b>	<b>TOTAL</b>
	ÓXIDO DE ZINCO	5,000	4,699	
	ÁCIDO ESTEÁRICO	1,000	0,940	
	<b>ANTIOXIDANTES</b>	<b>6,000</b>	<b>5,639</b>	<b>TOTAL</b>
	Parafenileno de diamina	0,833	0,783	
	Fenol estireno	1,667	1,566	
	PARAFINA	1,667	1,566	
ETAPA 3	<b>CARGAS</b>	<b>4,167</b>	<b>3,916</b>	<b>TOTAL</b>
	CARBONATO DE CÁLCIO	58,333	54,825	
	PARACAL	25,000	23,496	
	Negro de Fumo 0,029 µm	-----	1,566	
	Negro de Fumo 0,019 µm	-----	38,917	
	GRAFITE	20,000	39,004	
	S6H	-----	18,249	
	SILICA	-----	18,249	
	<b>PLASTIFICANTES</b>	<b>83,333</b>	<b>194,305</b>	<b>TOTAL</b>
	Parafinico	-----	6,814	
diocetil ftalato	4,167	3,916		
ETAPA 4	<b>ACELERADORES</b>	<b>4,167</b>	<b>10,730</b>	<b>TOTAL</b>
	TMTD	1,250	1,175	
	MBTS	0,583	0,548	
	DIAC 3	0,167	0,157	
		<b>2,000</b>	<b>1,880</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>(Σ) Da Formulação</b>	<b>239,667</b>	<b>354,948</b>	<b>TOTAL</b>

Após o tempo de estabilização do composto (24h), separou-se uma amostra para ensaio de reometria em um reômetro Monsanto modelo R-100 para determinar o tempo ótimo de cura (T 90), conforme a norma ASTM 2084. Utilizando-se os dados da reometria, prensaram-se os corpos de prova (cps) (ASTM D 3182, 3183) em prensa hidráulica aquecida, com controle de temperatura, para realização da vulcanização. Para obtenção dos cps de tração e rasgo, a placa deverá possuir de 40 a 50% de vulcanização para ser possível o corte da manta de borracha nas facas de estampo com os formatos padronizados pelas normas correspondentes aos

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

ensaios. Após o corte dos cps, os mesmos foram introduzidos em uma estufa aquecida a uma temperatura de 150°C por 1 h para completar a cura. Devido à complexidade do processo para obtenção dos cps em ebonite foi gerado um número restrito de seis cps sendo três para resistência à tração e três para o rasgo.

Para a confecção do selo separou-se a quantidade de material correspondente para o preenchimento da cavidade do molde. A prensagem foi realizada com degasagem do material no molde para evitar bolhas e linhas de junção na peça. O material foi prensado conforme as informações de vulcanização obtidas na curva reométrica. Realizou-se a pós-cura do selo em autoclave por 4 horas de 140 a 150°C e pressão de 5 kgf/cm<sup>2</sup>.

Para determinar as propriedades mecânicas do composto de ebonite autolubrificante, foram realizados ensaios de tração (ASTM 412 método B, máquina universal de ensaios EMIC modelo DL200MF, baixa velocidade: 50 mm/min), rasgo (ASTM 624, idem tração) dureza (ASTM D 2240, durômetro de bancada Shore D analógico Zwick) e testes funcionais da peça (não normatizado).

A Figura 2 ilustra o teste funcional para analisar o desempenho do selo mecânico quando solicitado à pressão e ao atrito; a marcação 1 representa o eixo árvore, a 2 o contra ponto e 3 a região atritada. O selo foi montado na castanha do torno e posicionado em contato com a coifa de borracha para gerar a pressão de aplicação e entrando em contato com a sua face frontal um disco de aço inoxidável polido realizando um giro de 800 rpm durante um tempo de 2 horas, para verificar a resistência à abrasão e autolubrificação do selo mecânico. Durante o ensaio foi monitorado a temperatura próximo ao ponto de contato com o disco metálico, verificando-se se houve liberação de pó e fumos, e mediu-se a massa do selo antes e depois do teste. Com um termômetro digital de infravermelho monitorou-se a temperatura da face de contato, em intervalos de 30 min.

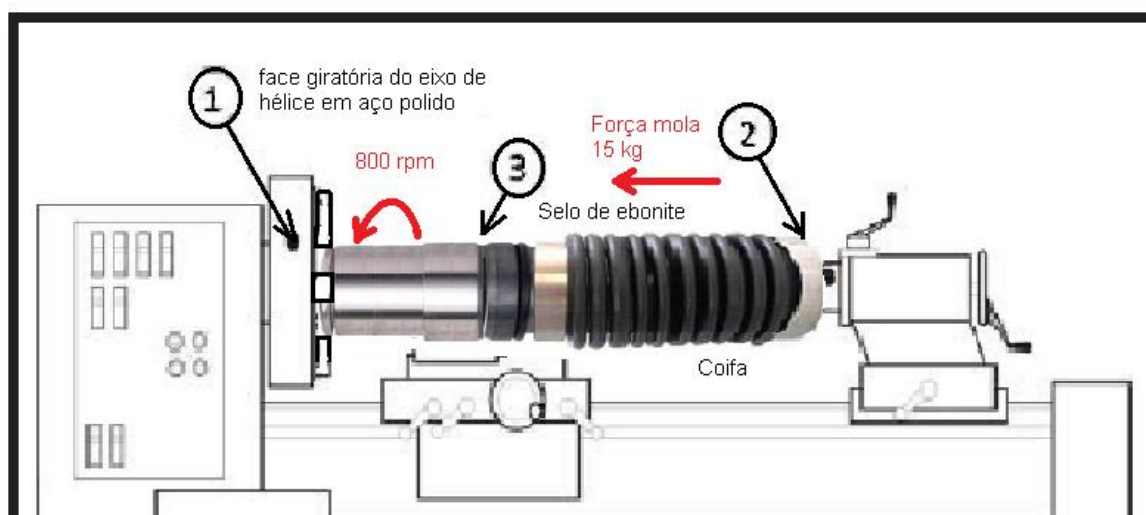


Figura 1. Esquema do ensaio funcional do selo mecânico.

O teste de atrito foi realizado de maneira a simular 44% de velocidade rotacional de trabalho, pois a velocidade máxima rotacional do torno era de 800 rpm, enquanto que o giro do eixo de hélice alcança 1800 rpm. A pressão aplicada no teste foi de 150% do valor encontrado no sistema da embarcação.

Foi realizado também um ensaio para verificação da exsudação de lubrificante. Um mês após os ensaios funcionais, um lote de dez peças foi armazenado em um

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

ambiente fechado à temperatura ambiente e sobre uma folha de impressão convencional, para detectar por meio da absorção os óleos e lubrificantes líquidos e sólidos exsudados da peça. O tempo de exposição foi de um mês. À deposição do lubrificante sólido ocorre devido à exsudação dos lubrificantes líquidos que tendem a arrastar partículas inertes de grafite em meio a matriz polimérica, em direção à superfície do selo mecânico.

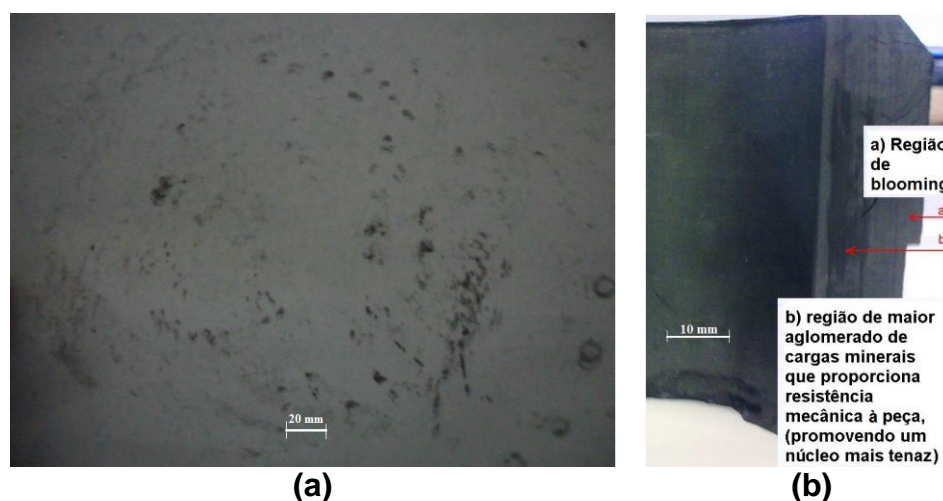
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios funcionais, o selo mecânico produzido pela formulação 1 se mostrou muito abrasivo, desgastando excessivamente, gerando fumos e aquecendo muito rapidamente por conta do atrito com o aço inox polido.

A mudança da formulação 1 para formulação 2, contendo borracha Viton® e borracha nitrílica carboxilada, as cargas reforçantes e lubrificantes sólidos da Tabela 1, se mostrou mais adequado para a aplicação em selo mecânico. Não foram identificadas perdas por liberação de pó, não houve liberação de fumos, a temperatura na região atritada após meia hora se elevou em relação à temperatura ambiente apenas em 5°C e manteve-se estável durante todo o período de ensaio de 2 h. A massa inicial manteve-se a mesma no final do teste caracterizando um desgaste imperceptível no tempo de solitação mecânica.

As NBR carboxiladas aumentam a resistência à abrasão, e melhoram a resistência à tração e tenacidade do termorrígido já que o mesmo deve resistir ao atrito constante por longos períodos.

Os resultados quanto à exsudação dos lubrificantes são mostrados na Figura 2, mostrando (a) a deposição dos lubrificantes sobre a folha de papel branca e (b) o selo mecânico cortado para evidenciar a região de exsudação.



**Figura 2.** Detecção de exsudação dos lubrificantes: (a) marcas dos lubrificantes do selo mecânico depositados em folha de papel branca (b) Selo de ebonite cortado, mostrando região de “blooming”.

As características que devem ser ressaltadas nos plastificantes: os óleos plastificantes parafínicos e naftênicos (NML) para borracha apolar de etileno propileno monômero dieno (EPDM) foram incorporados neste composto não como plastificante, mas sim como lubrificante para a peça. Por não possuir compatibilidade com o meio do composto de caráter polar (DOP, borracha nitrílica e Viton), o óleo NML tende a migrar lentamente para a superfície da peça, fenômeno conhecido por

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

*blooming*, arrastando os principais lubrificantes grafite e negro de fumo ISAF de menor granulometria ( $0,19\mu\text{m}$ ) [3]. Este negro de fumo aumenta ainda mais a resistência da superfície juntamente com a sílica, carga de caulim e carbonato de cálcio. Este é um dos principais aditivos para promover esta alta resistência na superfície juntamente com os elastômeros de alto desempenho (carbox e Viton®), e é fundamental para manter a lubrificação da superfície e reduzir o coeficiente de atrito. Este é uma das maneiras de se utilizar de maneira positiva o fenômeno físico-químico de migração dos fluidos aditivos em polímeros.

A partir dos resultados positivos da formulação 2, com exceção da dureza, todos os demais resultados referem-se ao selo mecânico produzido a partir da 2ª formulação. As características de processamento e de vulcanização da ebonite foram obtidas pela curva reométrica da Figura 3, que registra o torque (lb.in) em função do tempo (min) com o material sobre pressão de  $5\text{ kgf/cm}^2$  a  $150^\circ\text{C}$ .

Esta curva fornece inicialmente o torque de fusão, indicando que menor torque na fase inicial está relacionado à facilidade de processamento ou maior fluidez. O intervalo de tempo no eixo x que vai de T0 a T1 indica o tempo de segurança para processamento sem pré-vulcanização. T1 e T2 (tempo de pré-vulcanização scorch) são os tempos necessários para se aumentar o torque mínimo em 1 e 2 lb.in, respectivamente. Esses tempos indicam a segurança do processamento. Podem-se obter também os tempos necessários para se atingir 50% e 90% do torque máximo (T50 e T90). Para um tempo ótimo de vulcanização ou grau ótimo de cura, utiliza-se da interrupção da reação em 90% da cura, devido ao fato da continuidade do processo de vulcanização durante o resfriamento da borracha (ebonite) atingir  $\pm 100\%$  de vulcanização. Se o processo de vulcanização em prensa for interrompido em 100% a energia absorvida posteriormente resultará em envelhecimento do composto.

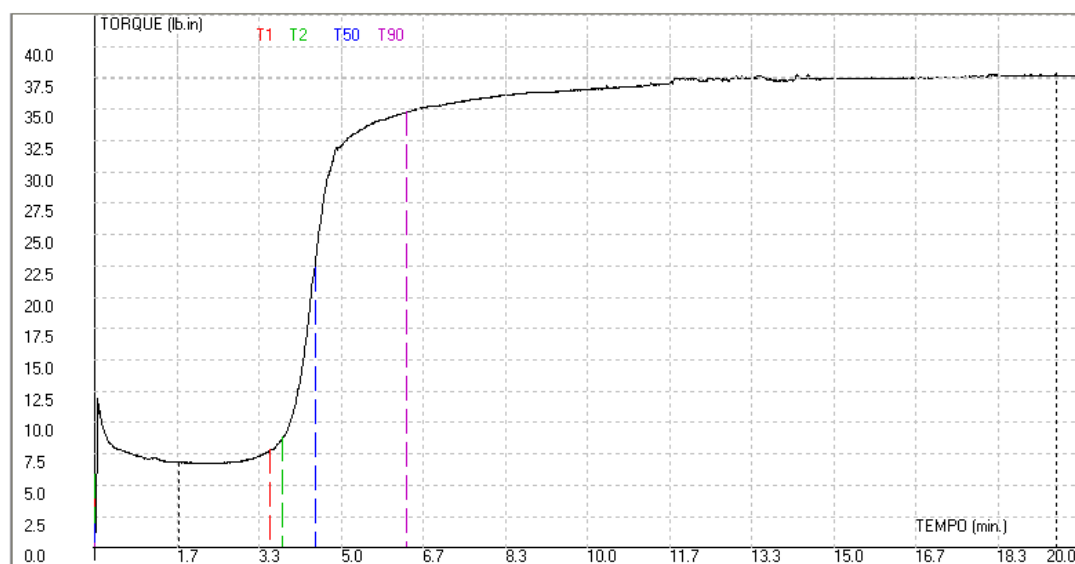


Figura 3. Curva reométrica de vulcanização da ebonite.

Os resultados de ensaio de tração e de rasgo encontram-se na Tabela 2. Os corpos de provas foram cortados de material vulcanizado conforme os resultados obtidos na curva reométrica, ou seja, utilizando-se o tempo ótimo de cura T90 (6 min e 10s).

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

**Tabela 2.** Resultados de ensaios físicos da ebonite (formulação 2)

COMPOSTO	JPS BLEND
TEMPO	5:30 h.
DUREZA PLACA	85 Shore D
RASGO/kg.cm <sup>2</sup>	15,5
MÓDULO 100/kg.cm <sup>2</sup>	0
MÓDULO 200/kg.cm <sup>2</sup>	0
MÓDULO 300/kg.cm <sup>2</sup>	0
RUPTURA/kg.cm <sup>2</sup>	9,1
ALONGAMENTO/%	25
T 2/min:s.	3:30
T 50/min:s.	4:40
T 90/min:s.	6:10
Torque mínimo (lb.in)	7,50
Torque máximo (lb.in)	37,5

As durezas Shore D dos compostos de ebonite, obtidas a partir das formulações 1 e 2, foram  $92 \pm 3$  e  $84 \pm 1$ , respectivamente. Para fins de comparação o poli(tetraflúor-etileno) utilizado em selos mecânicos possui uma dureza de  $65 \pm 5$  Shore D. Conseguiu-se assim a dureza proposta para a formulação de ebonite elaborada neste trabalho.

Compararam-se também as densidades, obtidas por deslocamento de volume de água, do selo confeccionado em ebonite e dos selos comercialmente disponíveis, mostrando que outra vantagem do selo de ebonite é sua leveza (Tabela 3).

**Tabela 3.** Comparação da densidade do composto de ebonite com os materiais utilizados de selos comercialmente disponíveis

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Custo por peça(R\$)*
Ebonite	1,42	5,44
Poli(tetraflúor-etileno) (PTFE - Teflon)	2,20	12,87
Carbeto de Silício	3,21	14,45

\*Custo relacionado somente à matéria-prima, sem envolver processos, mão de obra, equipamentos e energia.

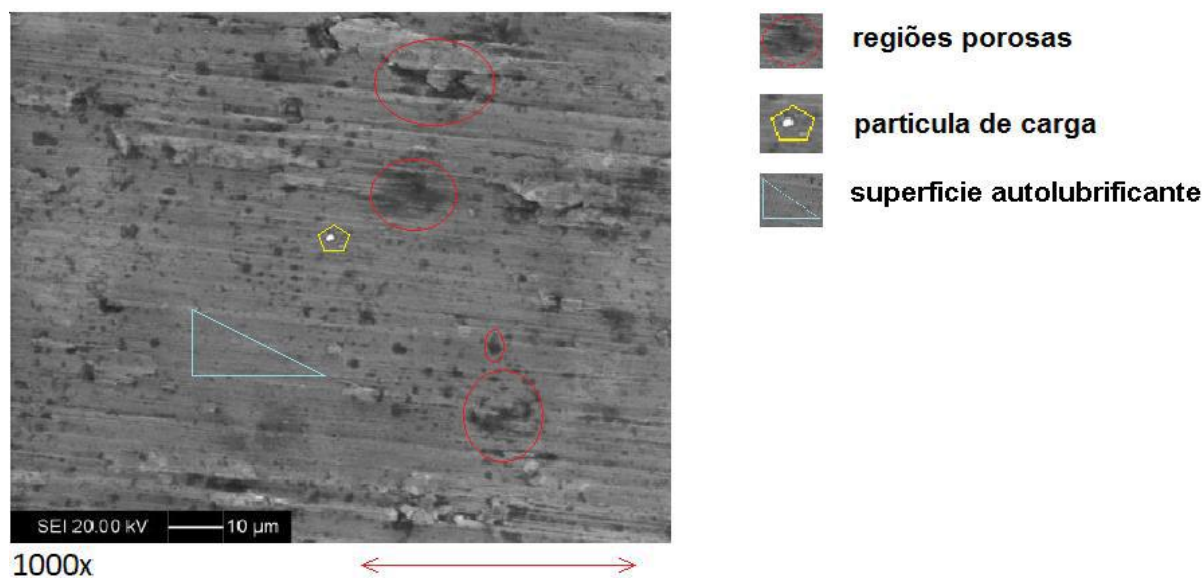
Os resultados da redução do custo com a matéria-prima na tabela 3 demonstram que a proposta para reduzir o custo do selo mecânico para vedação do eixo de hélice pode ser atingida de maneira satisfatória, lembrando que para sua confecção é possível utilizar-se de diversos processos de usinagem.

Consegue-se reduzir assim o custo com matéria prima em 28% quando comparado com o carbeto de silício e em 23% em relação ao selo de Teflon®, sem envolver custos de processos, mão de obra, equipamentos e energia.

Quanto às análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV), a Figura 4 apresenta uma micrografia da superfície do selo mecânico em corte que permite visualizar dois fatores importantes para a funcionalidade do material na fabricação

\* Contribuição técnica ao 69<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14<sup>o</sup> ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

do selo mecânico de eixo para barcos. O atrito com a serra e lateral da fita de corte proporcionou uma superfície irregular. Este mesmo atrito resultou no rompimento dos micros e nano aglomerados de grafite presentes no composto criando uma camada de planos de grafite por toda a superfície, marcado em azul. Isto é a primeira característica de importância para o funcionamento do selo, pois é demonstrado que durante a vida útil os aglomerados vão aos poucos se rompendo e lubrificando a superfície de contato.



**Figura 4.** Micrografia de MEV da superfície do selo em corte.

Quanto aos resultados da aplicação do selo mecânico em campo, um conjunto de selos foi montado em barcos e durante um ano tem realizado com sucesso a sua função. Em 18 barcos foram trocados as coifas de borracha Neoprene e mantidas os selos mecânicos por estarem em condições de uso.

#### 4 CONCLUSÃO

Foi confeccionado um selo mecânico de matriz elastoméricas com um alto grau de ligações cruzadas, com superfície autolubrificante por meio de exsudação de lubrificantes de oligômeros poliolefinicas e carbono amorfo, com reforço de negro de fumo e sílica, em blendas. O composto após a cura total possui uma estrutura impermeável aos fluidos líquidos e gasosos com característica autolubrificante e sofre baixo atrito em superfície polida.

O selo mecânico foi montado em barcos e durante um ano tem realizado com sucesso a sua função, podendo ser fabricado a um custo muito menor que outros selos de mesma função, sendo possível utilizar-se de diversos processos de usinagem. Em 18 barcos foram trocados as coifas de borracha Neoprene e mantidas os selos mecânicos por estarem em condições de uso.

Consegue-se reduzir o custo com matéria prima em 28% quando comparado com o carbetto de silício e em 23% em relação ao selo de Teflon®, sem envolver custos de processos, mão de obra, equipamentos e energia.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.





## Agradecimentos

À Empresa Rubbercity Artefatos de Borracha Ltda. e à Promarine - Comércio e Serviços Náuticos.

## REFERÊNCIAS

- 1 Ultraseal selos mecânicos. (s.d.). [acesso em 3 set. 2013]. Disponível em: <http://www.ultraseal.com.br/>.
- 2 Mark JE., Burak, E., e Eirich, EF. The Science and Technology of Rubber 3º ed. San Diego: Elsevier Academic Press, 2005.
- 3 Vanderbilt RT. Rubber Handbook. Norwalk: R.T.Vandebit Company Inc; 2010.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.