



Reuso de mantas não tecidas de polipropileno utilizadas em derramamentos de óleo

Jéssica Grapilha Fedrigo ¹, Marcelo Zaro ², Camila Baldasso ³,

¹ Universidade de Caxias do Sul (jgfedrig@ucs.br)

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Campus Litoral (marcelo.zaro@ufrgs.br)

³ Universidade de Caxias do Sul (cbaldasso@ucs.br)

Resumo

A reusabilidade é uma característica importante em sorventes de óleos do ponto de vista ambiental e econômico. O objetivo desse trabalho foi comparar diferentes métodos de reuso de mantas não tecidas de polipropileno. São eles: compressão mecânica com prensa; compressão mecânica com prensa de rolos; e centrifugação. Os ensaios foram realizados empregando como sorbato óleo lubrificante de base mineral Lubrax® SAE 15W40 SL e metodologia baseada na norma ASTM F726-12 para adsorventes. Foram simulados seis ciclos de reuso. Entre o primeiro e o segundo ciclo de reuso houve uma redução da capacidade de adsorção de 79,34% para extração mecânica por prensa; 66,86% para extração mecânica por prensa de rolo e 30,23% para a centrifugação. Ao final do quinto ciclo a amostra que passou por processo de centrifugação ainda mantinha 78% de sua capacidade de sorção inicial. O stress mecânico sofrido pelas fibras quando aplicada a prensa e a prensa de rolo comprometeu a estrutura do material sorvente. Nesses casos, verificou-se que as amostras tiveram uma redução em sua espessura original e um aumento na largura e no comprimento. Os resultados indicam que o método de centrifugação se sobressai perante os outros testados.

Palavras-chave: Mantas não tecidas. Sorventes de óleo. Recuperação de óleos.

Área Temática: Recursos hídricos

Reuse of non-woven polypropylene blankets used in oil spills

Abstract

Reusability is an important feature in oil sorbents from an environmental and economic point of view. The objective of this work was to compare different methods of reusing non-woven polypropylene blankets. They are: mechanical compression with press; mechanical compression with roller press; and centrifugation. The tests were performed using as sorbate the mineral based lubricant Lubrax® SAE 15W40 SL and methodology based on the standard ASTM F726-12 for adsorbents. Six cycles of reuse were simulated. Between the first and the second reuse cycle there was a reduction of the adsorption capacity of 79.34% for mechanical extraction by press; 66.86% for mechanical extraction by roller press and 30.23% for centrifugation. At the end of the fifth cycle the sample that was centrifuged still had 78% of its initial sorption capacity. The mechanical stress suffered by the fibers when applied the press and the roller press compromised the structure of the sorbent material. In these cases, it was found that the samples had a reduction in their original thickness and an increase in width and length. The results indicate that the centrifugation method excels the others tested.

Key words: Non-woven. Oil sorbents. Oil recovery.

Theme Area: Water resources



1 Introdução

A matriz energética global é amplamente dependente do petróleo e seus derivados. Como consequência, diversos acidentes têm sido reportados nas últimas décadas, inclusive no Brasil. Esses acidentes podem ocorrer tanto em meio aquático como em solo, prejudicando a flora, fauna e a saúde humana.

Entre as diversas técnicas de remediação de acidentes envolvendo óleos, destaca-se o emprego de materiais sorventes. Os sorventes recuperam o óleo do meio, separando ele da água. Esses podem ser usados para pequenos volumes de óleo derramado ou para finalizar o processo de limpeza depois que outros métodos de remediação já tiverem sido empregados (CETESB, 2014; GUMTZ; MELOY, 1975; DO VALLE; LAGE, 2009).

Os materiais sorventes podem ser separados em três grupos principais: produtos inorgânicos minerais, produtos orgânicos sintéticos e produtos orgânicos vegetais. O primeiro grupo é representado por materiais como zeólitas, sílica, perlita, grafite, vermiculitas, cal e diatomita. O segundo grupo por mantas não tecidas de polipropileno (PP) e espumas de poliuretano (PU), que são com frequência disponibilizadas comercialmente para sorção de óleos devido às suas características hidrofóbicas. O terceiro grupo é representado por fibras de algodão e de madeira, palha, fibra celulósica, palha de milho, turfa, etc. Os materiais vegetais, geralmente, apresentam baixa flutuabilidade, baixa capacidade de sorção de óleos e reduzida hidrofobicidade (ADEBAJO et al., 2003; KARAN, RENGASAMY, DAS, 2011). Os materiais poliméricos, como mantas não tecidas de PP, são comumente considerados bons sorventes.

Os sorventes não tecidos de PP são materiais fibrosos consolidados em forma de rede, que são diferentes de tecidos têxteis convencionais. Essas redes fibrosas contêm pequenos poros que facilitam o transporte de líquidos para o interior do sorvente, ao mesmo tempo que auxiliam a reter o sorvato depois de finalizada a sorção. A sorção de líquidos por sorventes não tecidos de PP é influenciada, principalmente, pela quantidade e distribuição de poros presentes entre fibras (KARAN, RENGASAMY, DAS, 2011).

Para ser considerado efetivo na remediação de áreas atingidas por derramamentos, um sorvente deve ter como característica desejável a capacidade de reuso. A importância da realização de estudos sobre o reuso de sorventes se sustenta em diversos aspectos. Como exemplo, o reuso permite economizar matéria-prima necessária para a fabricação de novos sorventes e também evita ou posterga o tratamento e disposição final no pós uso, trazendo ganhos ambientais e econômicos. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei n.º 12.305 (BRASIL, 2010), destaca entre os seus objetivos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, o incentivo à indústria da reciclagem e a prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, de produtos reciclados e recicláveis. Em relação às responsabilidades compartilhadas, a Lei ainda acentua que deve haver o incentivo à utilização de insumos menos agressivos ao meio ambiente e de maior sustentabilidade e, também, o estímulo para o desenvolvimento de mercado, produção e consumo de produtos de materiais reciclados e recicláveis.

Em um estudo pioneiro, Johnson, Manjrekar e Halligan (1973) demonstraram a possibilidade de se reutilizar fibra de algodão após a mesma passar por um simples processo de recuperação do óleo por compressão. O experimento simulou 2,5 ciclos de reuso com pequena perda da capacidade de sorção ao final do último ciclo. Os pesquisadores também testaram a remoção do óleo utilizando um processo de extração com tricloretileno, mas a capacidade de sorção após esse ciclo de recuperação reduziu mais do que quando realizada a recuperação mecânica do óleo.



Tanobe (2007) avaliou a reusabilidade de uma espuma de PU graftizada e não graftizada na sorção de óleo em água do mar artificial, utilizando método de prensagem entre um ciclo e outro. Os resultados indicaram que, após a simulação de dois ciclos de uso, as amostras graftizadas e não graftizadas continuaram a sorver óleo sem afetar significativamente a sua eficiência original.

Lin, Huang e Shern (2008) simularam o reuso de pó de pneu na sorção de óleo lubrificante por 100 vezes. Cada vez que o sorvente foi utilizado para remoção do óleo testado, o mesmo passava por um processo de compressão mecânica para simular a recuperação do óleo. Os testes confirmaram que o pó de pneu pôde ser reutilizado por mais de 100 vezes sem perda da sua capacidade de sorção. De acordo com os autores, esse resultado se justifica dadas as características elásticas da borracha. Considerando a possibilidade de uso do pó por 100 vezes, a capacidade de sorção seria de 220 g de óleo por g de pó.

Em fibras de paineira há uma redução expressiva da capacidade de sorção apenas entre o primeiro e segundo ciclo de reuso. De acordo com os resultados de Abdullah, Rahmah e Man (2010), as capacidades de sorção de óleo no primeiro e segundo ciclo de reuso foram de 17,0 e 13,0 g.g⁻¹, respectivamente. Do terceiro até o décimo quinto ciclo, a perda da capacidade de sorção foi considerada insignificante pelos pesquisadores. O fato da capacidade de sorção ter sido mais elevada entre o primeiro e o segundo ciclo pode ser explicado por uma deformação irreversível das fibras.

Wu et al. (2014) relatam uma perda crescente da capacidade de sorção de óleo lubrificante por espumas de PU tratadas com SiO₂. Após 15 ciclos de recuperação do óleo por compressão, a capacidade de sorção de óleo diminuiu de 100,0 para 76,0 g.g⁻¹, embora tenha mantido 70% da sua capacidade de sorção. Desta maneira, 1 g do material sorvente pôde recuperar 1.350 g de óleo após 15 ciclos de reuso.

No caso de fibras poliméricas, como as de PP, o uso como sorvente pode sujeitar o material a uma grande variedade de deformações mecânicas, tais como estiração, torção, cisalhamento e abrasão. Desta maneira, elas devem ter um limite de resistência à tração elevado (ao longo de uma faixa de temperaturas ampla) e um módulo de elasticidade alto, assim como resistência à abrasão. Essas propriedades dependem da química das cadeias poliméricas e também do processo de estiramento das fibras (CALLISTER; RETHWISCH, 2010).

Em estudos anteriores desenvolvido por Zaro (2014) constatou-se que uma manta não tecida de PP com espessura nominal de 4 mm pôde ser reutilizada diversas vezes na sorção de óleo diesel, no entanto, o material perdeu grande parte da sua capacidade de sorção entre o primeiro e o segundo ciclo de reuso (74,4%). A manta que inicialmente apresentou uma capacidade de sorção de 7,93 g.g⁻¹, passou a sorver em torno de 2,00 g.g⁻¹ nos ciclos posteriores. O autor, que utilizou técnica de compressão mecânica por prensagem, salienta que a mesma pode não ter sido a mais adequada para o tipo de material avaliado, sugerindo estudos adicionais simulando outras técnicas de recuperação de óleos.

Nesse sentido, esse estudo teve como objetivo testar e comparar diferentes métodos mecânicos de extração de óleo para a recuperação de uma manta não tecida de PP.

2 Materiais e métodos

2.1 Materiais

Os ensaios de reuso foram realizados no LPQM da Universidade de Caxias do Sul, utilizando mantas não tecidas de PP produzidas por *melt-spinning*. As mantas foram fornecidas pela Ebios Tecnologia LTDA (Caxias do Sul/RS), com espessura nominal de 4 mm. Para a realização dos ensaios foi selecionado como sorbato óleo lubrificante multiviscoso de base mineral Lubrax® SAE 15W40 SL.



2.2 Métodos

2.2.1 Ensaios de adsorção

Os ensaios para a determinação da capacidade de adsorção de óleo lubrificante pela manta não tecida de PP, necessários para a caracterização do potencial de reuso do sorvente, foram realizados segundo a norma ASTM F726-12 (2012) de curta duração. É importante destacar que a adsorção se refere ao fenômeno de deposição superficial de óleos nas fibras do não tecido.

Os corpos de prova foram cortados em dimensões de 13 x 13 cm, e então mantidos juntamente com o óleo lubrificante por no mínimo 24 h em ambiente climatizado à temperatura de $23 \pm 4^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $70 \pm 20\%$.

Todos os corpos de prova foram previamente pesados e então colocados em uma placa de Petri contendo óleo suficiente para que pudessem flutuar livremente por $15 \text{ min} \pm 20 \text{ s}$. Durante o ensaio, o ambiente permaneceu com a temperatura e umidade pré-estabelecidas em norma.

Após, com o auxílio de duas pinças, os corpos de prova foram retirados do meio contendo óleo lubrificante, permanecendo por $30 \pm 3 \text{ s}$ em posição vertical permitindo o óleo escorrer, e então novamente pesados.

O resultado do teste é dado em grama de óleo lubrificante por grama de adsorvente e foi calculado segundo a Equação 1.

$$CpA_M = \frac{S_{ST} - S_0}{S_0} \quad (1)$$

Sendo: CpA_M a capacidade de adsorção de óleo (g.g^{-1}); S_{ST} a massa da amostra após a adsorção do óleo (g); e S_0 a massa inicial do adsorvente seco (g).

Os testes foram realizados em triplicata e o resultado foi dado pela média obtida dos três ensaios. Se a capacidade de adsorção obtida em cada ensaio apresentasse um desvio maior que 15% da média dos três ensaios, as amostras eram descartadas e o ensaio repetido com três novas amostras.

2.2.2 Ensaios de reuso

Os ensaios foram realizados e adaptados segundo a norma ASTM F726-12 (2012), que apresenta procedimentos de teste que determinam o quanto um adsorvente pode ser saturado, ter o óleo extraído e em seguida ter o ciclo repetido. O reuso foi ensaiado de três maneiras: por compressão mecânica com prensa; compressão mecânica com prensa de rolos; e centrifugação. Esses procedimentos foram selecionados por serem indicados para óleos leves.

Extração mecânica por prensa

Os adsorventes secos foram pesados, saturados, drenados e novamente pesados, conforme a norma, após subtraiu-se o peso do adsorvente seco para se obter o total de óleo adsorvido. A amostra então foi colocada sobre uma placa rígida de metal com os cantos dobrados para baixo de tal forma que quando o óleo fosse removido, por compressão, não retornasse para a manta. A extração do óleo da manta foi realizada através de uma prensa hidráulica Schulz® PHS 15 t. A pressão aplicada foi de $0,7 \text{ kg.cm}^{-2}$ durante $15 \pm 2 \text{ s}$, após o adsorvente foi novamente pesado. Repetiu-se o procedimento mais quatro vezes a fim de se ter dados para cinco ciclos. A cada ciclo, os valores eram registrados.



O resultado da capacidade de adsorção em cada ciclo é dado pela Equação 2. O ensaio foi realizado em quintuplicata.

$$CpA_{Mx} = \frac{O_{STx} - S_{Ox}}{S_{Ox}} \quad (2)$$

Sendo: CpA_{Mx} a capacidade de adsorção de óleo no ciclo “x” ($g \cdot g^{-1}$); O_{STx} a massa do adsorvente no final do ciclo “x” (g); e S_{Ox} a massa inicial do adsorvente no começo do ciclo “x” (g).

A quantidade de óleo removido em cada ciclo é dada pela Equação 3.

$$\% OR_x = \left(\frac{(O_{STx} - S_{Ox}) - O_{Nx}}{(O_{STx} - S_{Ox})} \right) \times 100 \quad (3)$$

Sendo: OR_x a quantidade de óleo removido no ciclo “x” (%); e O_{Nx} a massa de óleo remanescente ou quantidade de óleo retido no início do ciclo “x” (g).

Extração mecânica por prensa de rolos

Os adsorventes secos foram pesados, saturados, drenados e novamente pesados. Por conseguinte, calculou-se a quantidade de óleo adsorvido. A extração do óleo da manta foi realizada através de uma prensa de rolos desenvolvida pela empresa Eletron Automação Industrial.

A prensa é composta por dois rolos com 31 cm de diâmetro e 15 cm de comprimento, sendo assim suficiente para acomodar a amostra desdobrada. A distância entre os rolos foi adaptada de tal modo que o espaçamento entre eles ficasse com a metade da espessura das mantas, ou seja, 2 mm. O adsorvente saturado foi comprimido a uma velocidade de $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$.

Este procedimento foi repetido por mais quatro vezes, obtendo assim, dados de pelo menos cinco ciclos. A cada ciclo realizado os valores eram registrados. O ensaio foi realizado em quintuplicata e os cálculos realizados.

Extração mecânica por centrifugação

Os adsorventes secos foram pesados, saturados, drenados e novamente pesados. Calculou-se a quantidade de óleo adsorvido e então o adsorvente saturado foi colocado em uma centrífuga da marca Muller®.

A centrifugação foi realizada pelo tempo de 3 minutos a uma rotação de 1.800 rpm, conforme informações do fabricante.

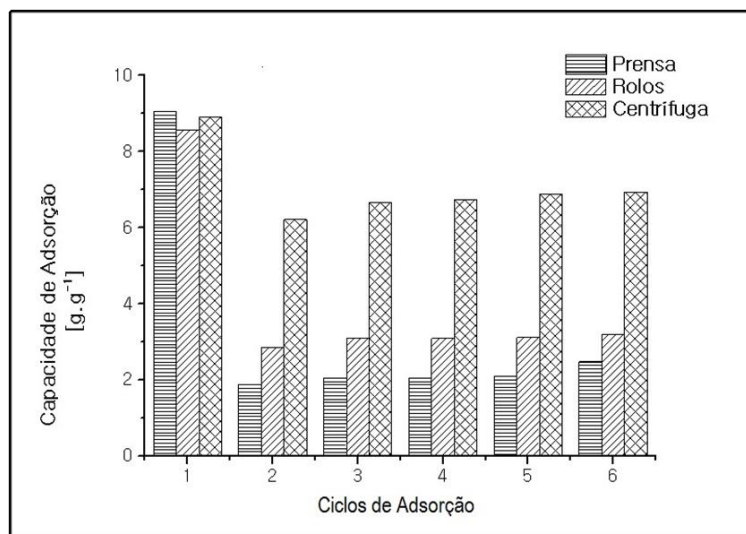
Este procedimento foi repetido por mais quatro vezes, obtendo assim, dados de pelo menos cinco ciclos. A cada ciclo realizado os valores eram anotados. O ensaio foi realizado em quintuplicata e os cálculos feitos.

3 Resultados

A Figura 1 apresenta os resultados médios obtidos para os três métodos utilizados na avaliação de reuso da manta.



Figura 1 – Reusabilidade da manta não tecida de PP nos ensaios com óleo lubrificante SAE 15W40.



As mantas de PP apresentaram capacidade de adsorção inicial de $9,05 \pm 0,23 \text{ g.g}^{-1}$; $8,57 \pm 0,22 \text{ g.g}^{-1}$; e $8,90 \pm 0,54 \text{ g.g}^{-1}$ para extração mecânica por prensa, extração mecânica por prensa de rolos e centrifugação, respectivamente. Considerando as amostras testadas, na capacidade de adsorção entre o primeiro e o segundo ciclo, houve uma redução de 79,34% para extração mecânica por prensa; 66,86% para extração mecânica por prensa de rolo e 30,23% para a centrifugação. No caso da recuperação do óleo por compressão com prensa, a redução da capacidade de sorção foi similar àquela obtida por Zaro (2014). Após o segundo ciclo de reuso, a capacidade de adsorção de óleo mostrou-se estável para todos os métodos avaliados.

Tanobe (2007) destaca em sua pesquisa com espumas de PU o fato que a capacidade de adsorção do material sorvente é perdida à medida que o mesmo é reutilizado, em função do *stress* mecânico que é produzido durante as etapas de retirada do óleo, comprometendo assim, a estrutura dos poros. Dentro deste contexto verificou-se que as amostras tiveram uma redução expressiva em sua espessura e um aumento considerável na largura e no comprimento quando passaram pelo processo de prensagem convencional e prensagem por rolo. Em contrapartida, quando passaram pelo processo de centrifugação, as amostras não apresentaram modificações estruturais visíveis. Pode-se então dizer que o *stress* mecânico sofrido pelas fibras é maior quando aplicada a prensa e a prensa de rolo, comprometendo a estrutura do material. No entanto, o ideal seria a avaliação das amostras por microscopia eletrônica de varredura após o término do quinto ciclo, para comprovação destas mudanças.

Considerando a massa do adsorvente no início de cada ciclo temos a massa remanescente de óleo que variou de $20,48 \pm 1,29 \text{ g}$, $17,72 \pm 0,95 \text{ g}$ e $4,26 \pm 0,16 \text{ g}$, para os ensaios com prensa, prensa de rolo e centrífuga, respectivamente.

Os valores apresentados estão associados à eficiência do processo aplicado para a recuperação do óleo, sendo considerada a centrífuga a melhor opção entre os métodos testados, pois confere uma recuperação média de $95,56 \pm 0,41\%$ de óleo a cada ciclo, seguido pela prensa de rolo, $78,80 \pm 4,09\%$, e por último a prensa, $67,33 \pm 1,27\%$.

Hu et al. (2013) compararam a reusabilidade de géis de borracha graftizada por diesel em 30 ciclos utilizando o método de centrifugação (4.000 rpm por 3 min). Os autores constataram que, mesmo após 30 ciclos, a capacidade de adsorção manteve-se próxima ao do primeiro ciclo (capacidade máxima de adsorção). Os autores apontam que, por serem elastômeros, os sorventes testados puderam retornar e restaurar a forma original após a



remoção do adsorbato por forças externas.

Lin, Hong e Hu (2010) avaliaram a reusabilidade por compressão mecânica em fibras de polipropileno com óleo lubrificante 5W40 com metodologia semelhante à apresentada neste estudo. A capacidade máxima de adsorção inicial foi de 43 g.g^{-1} , caindo expressivamente até o oitavo ciclo. Após o oitavo ciclo, a capacidade de adsorção manteve-se praticamente estável até o centésimo ciclo, com valores registrados 60% menores que o inicial. Os autores associam a queda da capacidade de adsorção com a falta de elasticidade da fibra.

Choi e Cloud (1992) testaram a reusabilidade de fibras de polipropileno por compressão entre dois rolos a $3,5 \text{ kg.cm}^{-2}$. O adsorbato escolhido pelos autores foi o petróleo leve em emulsão com água do mar artificial. No primeiro ciclo, a capacidade de adsorção foi de $11,3 \text{ g.g}^{-1}$, sendo que para o segundo e terceiro ciclo a capacidade de adsorção manteve-se constante em $9,4 \text{ g.g}^{-1}$, representando uma queda de 16,8%. Este valor foi menor que o encontrado na presente pesquisa. A quantidade de óleo remanescente também se mostrou menor: 1,7 g ante 17,7 g.

Radetic et al. (2003) demonstraram a reusabilidade em resíduos reciclados à base de lã por compressão entre rolos ao longo de cinco ciclos. Os autores constataram que a capacidade de adsorção, por mais que diminuísse com o aumento dos ciclos, não era tão severamente afetada e a remoção de óleo era suficientemente boa, apresentando-se como uma alternativa válida para a substituição de adsorventes sintéticos disponíveis comercialmente.

Finalmente Wu et al. (2014) compararam a reusabilidade por compressão em espumas de PU por quinze ciclos com óleo lubrificante na interface com água. Os autores relataram uma queda crescente da capacidade de adsorção ciclo após ciclo, porém ao final dos testes a espuma ainda mantinha 70% de sua capacidade inicial, resultado este superior aos resultados encontrados para o processo de prensagem e prensagem por rolo. No entanto, mostrou-se equivalente ao encontrado para o processo de centrifugação.

4 Conclusões

O método de centrifugação representou a melhor opção e a que apresenta menor fator de impacto ambiental, pois permite maximizar o uso do sorvente, em geral. No entanto, apesar da superioridade relatada, também deve-se avaliar a viabilidade do emprego da técnica *in situ*. Os resultados obtidos pelos métodos mecânicos de compressão denotam que, além do *stress* mecânico sofrido em cada ciclo de reuso, a pressão aplicada aos sorventes – seguindo a ASTM F726-12 – pode não ter sido suficiente para promover a extração efetiva do óleo.

Referências

- ABDULLAH, M. A.; RAHMAH, A. R.; MAN, Z. Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a natural oil sorbent. **Journal of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 683-691, 2010.
- ADEBAJO, M. O.; FROST, R. L.; KLOPROGGE, J. T.; CARMODY, O.; KOKOT, S. Porous materials for oil spill cleanup: a review of synthesis and absorbing properties. **Journal of Porous Materials**, v. 10, p. 159-170, 2003.
- ASTM. **F726-12**: Standard test methods for sorbent performance of adsorbents. Philadelphia, 2012.
- BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.



CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D, G. **Materials science and engineering: an introduction**. EUA: Wiley, 2010.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Gerenciamento de riscos**, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/gerenciamento-de-riscos/vazamento-de-oleo/262-panorama-geral>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

CHOI, H.; CLOUD, R. M. Natural Sorbents in oil spill cleanup. **Environmental Science Technology**, v. 26, p. 772-776, 1992.

DO VALLE, C. E.; LAGE, H. **Meio ambiente: acidentes, lições, soluções**. São Paulo: Senac, 2009.

GUMTZ, G. D.; MELOY, T. P. Particulate oil spill recovery, oil sorption properties of plastic foams. **International Journal of Mineral Processing**, v. 2, n. 2, p. 151-161, 1975.

HU, Y.; LIU, X.; ZOU, J.; GU, T.; CHAI, W.; LI, H. Graphite/isobutylene-isoprene rubber highly porous cryogels as new sorbents for oil spills and organic liquids. **Applied Materials and Interfaces**, v. 5, p. 7737-7742, 2013.

JOHNSON, R. F.; MANJREKAR, T. G.; HALLIGAN, J. E. Removal of oil from water surfaces by sorption on unstructured fibers. **Environmental Science & Technology**, v. 7, n. 5, p. 439-443, 1973.

KARAN, C. P.; RENGASAMY, R. S.; DAS, D. Oil spill cleanup by structured fibre assembly. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, v. 36, p. 190-200, jun. 2011.

LIN, C.; HONG, Y. J.; HU, A. H. Using a composite material containing waste tire powder and polypropylene fiber cut end to recover spilled oil. **Waste Management**, v. 30, p. 263-267, 2010.

LIN, C.; HUANG, C.-L.; SHERN, C.-C. Recycling waste tire powder for the recovery of oils spills. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, p. 1162-1166, 2008.

RADETIC, M. M.; JOCIC, D. M.; JOVANIC, P. M.; PETROVIC, Z. L. J.; THOMAS, H. F. Recycled wool-based nonwoven material as an oil sorbent. **Environmental Science and Technology**, v. 37, p. 1008-1012, 2003.

TANOBE, V. **Desenvolvimento de sorventes à base de espumas de poliuretanos flexíveis para para o setor do petróleo**. 2007. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WU, D.; FANG, L.; QIN, Y.; WU, W.; MAO, C.; ZHU, H. Oil sorbents with high sorption capacity, oil/water selectivity and reusability for oil spill cleanup. **Marine Pollution Bulletin**, v. 84, p. 263-267, 2014.

ZARO, M. **Avaliação dos processos de sorção de óleos em mantas não tecidas de PP**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2014.