



Compósitos ambientalmente amigáveis desenvolvidos com resíduos de poliestireno expandido reciclado e serragem de *Pinus elliottii*

**Matheus Poletto¹, Crissiê Dossin Zanrosso¹, Juliane Dettenborn¹,
Mara Zeni¹, Ademir José Zattera¹**

¹Núcleo de Tecnologia e Processos de Materiais Poliméricos (NTPol)
Universidade de Caxias do Sul
mpolett1@ucs.br

Resumo

Neste trabalho as propriedades mecânicas de compósitos desenvolvidos com poliestireno expandido reciclado e serragem foram analisadas com o intuito de verificar a utilização destes resíduos na obtenção de compósitos ambientalmente amigáveis. Os resíduos de poliestireno expandido provenientes da coleta seletiva foram moldados por compressão para eliminar os gases de expansão ocasionando aumento da densidade aparente. Constatou-se que a moldagem por compressão dos resíduos de poliestireno expandido aumentou a densidade aparente do material conforme recebido em 25 vezes, possibilitando sua utilização diretamente no processo de extrusão juntamente com a serragem. Os compósitos foram processados em extrusora dupla-rosca co-rotante e após injetados. A gradual adição de serragem ocasionou aumento da resistência a flexão e do módulo de flexão dos compósitos sem, no entanto, gerar aumento significativo na densidade.

Palavras-chave: Poliestireno Expandido Reciclado. Serragem. Compósitos.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

Abstract

In this work the mechanical properties of recycled expanded polystyrene composites reinforced with sawdust were analyzed in order to verify the use of these wastes to obtain environmentally friendly composites. Waste expanded polystyrene originating from selective collection were compression molded in order to remove the expanding gases resulting increase in density. It was found that the compression molding of waste polystyrene increased the material density as received on 25 times, making possible to use it directly in the extrusion process with sawdust. The composites were processed in co-rotating twin-screw extruder and then injected. The gradual addition of sawdust generates an increase on the composite flexural strength and flexural modulus but it does not generate a significant increase in density.

Key words: Recycled Expanded Polystyrene. Sawdust. Composites.

Theme Area: Solid waste



1 Introdução

As políticas ambientais cada vez mais severas estão fazendo com que determinadas indústrias (BEG, 2008) como a automotiva, moveleira e de construção civil desenvolvam novos materiais em substituição gradual aos materiais compósitos fabricados com polímeros virgens e cargas inorgânicas. A possibilidade de utilização de resíduos recicláveis no desenvolvimento de compósitos é uma proposta atrativa, especialmente devido à grande quantidade de resíduos poliméricos descartados via coleta seletiva (ASHORI, 2009).

A utilização de resíduos lignocelulósicos, como a serragem, constitui uma alternativa viável sob o ponto de vista econômico e ambiental já que estes provêm de fontes renováveis, são biodegradáveis e de baixo custo (TSERKI, 2003). A adição de fibras naturais a poliolefinas recicladas resulta em compósitos ambientalmente amigáveis, quando comparados aos compósitos desenvolvidos com polímeros virgens reforçados por fibras inorgânicas, já que menor quantidade de energia é necessária para sua produção (MOHANTY, 2005).

As empresas pertencentes ao pólo moveleiro da Serra Gaúcha geram aproximadamente 348 ton de serragem de *Pinus elliottii* por mês e que em sua totalidade não é completamente reaproveitada ou reinserida no ciclo produtivo (WEBER, 2007). O poliestireno expandido (EPS) pós-consumo, conhecido pela marca isopor[®], é um material passível de reciclagem descartado com os resíduos recicláveis municipais. A geração deste resíduo em Caxias do Sul é de aproximadamente 28 ton por mês (POLETTTO, 2008). A falta de um mercado específico para a reciclagem do EPS faz com que algumas centrais de triagem consideram o EPS como rejeito e o encaminham ao aterro sanitário. Assim, áreas cada vez maiores devam ser destinadas para disposição de um resíduo potencialmente reciclável.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para reciclagem dos resíduos de EPS para após confeccionar compósitos utilizando os resíduos de serragem de *Pinus elliottii* avaliando as propriedades mecânicas dos compósitos produzidos.

2 Materiais e métodos

Materiais

A serragem fornecida pela Madarco S/A, situada em Caxias do Sul, Rio Grande do Sul (RS), como resíduo de processo, proveniente de madeira de reflorestamento de *Pinus elliottii* não tratada. As partículas de madeira possuem tamanho de partícula médio entre 53-210 μm . O poliestireno expandido (EPS) pós-consumo, fornecido pela Associação de Recicladores Serrano, é oriundo da coleta seletiva do município de Caxias do Sul-RS.

Metodologia de reciclagem dos resíduos de EPS

Os resíduos de EPS passaram por uma triagem inicial onde foram removidos adesivos e demais sujidades. Os resíduos de EPS provenientes de embalagens de alimentos não foram utilizados. O EPS pós-consumo foi moldado por compressão em uma prensa hidráulica a temperatura de 130°C, com pressão de fechamento de 100 kgf/cm² por 5 minutos, com degasagem, visando acréscimo da densidade aparente. As placas obtidas foram então moídas em moinho de facas.

Confeção dos compósitos

A serragem foi previamente seca em estufa por 24h a 70°C. Os compósitos foram confeccionados em uma extrusora dupla-rosca co-rotante modelo MH-COR-20-32. A extrusão foi realizada com temperaturas variando conforme o perfil a seguir: 100°C, 160°C, 175°C, 185°C, 190°C, 170°C na zona de degasagem, 185°C, 190°C, 190°C e com temperatura do fundido igual a 190°C. O material extrusado foi secado em estufa a temperatura de 70°C



por 24 horas, e após processado em injetora Himaco LH 150-80 com temperaturas entre 180°C e 190°C, para confecção de corpos de prova de flexão e impacto.

Ensaios Mecânicos e Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os corpos de prova foram condicionados por 48h a temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa antes da realização dos ensaios. O ensaio de flexão foi realizado em máquina de ensaios universais EMIC DL-3000, segundo ASTM D 790, com velocidade de 1,5 mm/min. Os ensaios de impacto IZOD sem entalhe foram realizados com martelo de 1J em equipamento da CEASt modelo Resil 25, conforme ASTM D 256. A densidade aparente dos resíduos de EPS antes e após o processo de moldagem foi determinada de acordo com a NBR 11949-07. A densidade do EPS extrusado/injetado (EPS-r) e dos compósitos foi determinada segundo a ASTM D792.

As micrografias foram obtidas de amostras criogenicamente fraturadas utilizando-se um microscópio eletrônico de varredura marca SHIMADZU modelo Superscan SS-550 com tensão de aceleração de 10 kV. As superfícies fraturadas foram recobertas com ouro utilizando-se um metalizador antes da análise no microscópio eletrônico de varredura.

3 Resultados e discussão

Reciclagem dos resíduos de EPS

A Figura 1 apresenta o aspecto dos resíduos de EPS antes e após o processo de moldagem por compressão.



Figura 1: Resíduos de EPS antes e após moldagem por compressão

Observa-se a redução do volume e a formação de placas de EPS com densidade aparente 25 vezes superior à densidade do material conforme recebido, conforme a Tabela 1. Desta forma, a redução no volume possibilita que depois de moído o EPS possa ser utilizado diretamente no processo de extrusão juntamente com a serragem, sem antes ser extrusado separadamente, eliminando uma operação e reduzindo assim os custos de reciclagem. A Figura 2 apresenta a morfologia dos resíduos de EPS após os diversos processamentos.

Tabela 1: Densidade do EPS conforme recebido e após moldagem por compressão e extrusão/injeção

Material	Densidade (g/cm ³)
EPS	0,022 ± 0,001
EPS moldado por compressão	0,552 ± 0,047
EPS extrusado/injetado	1,072 ± 0,001

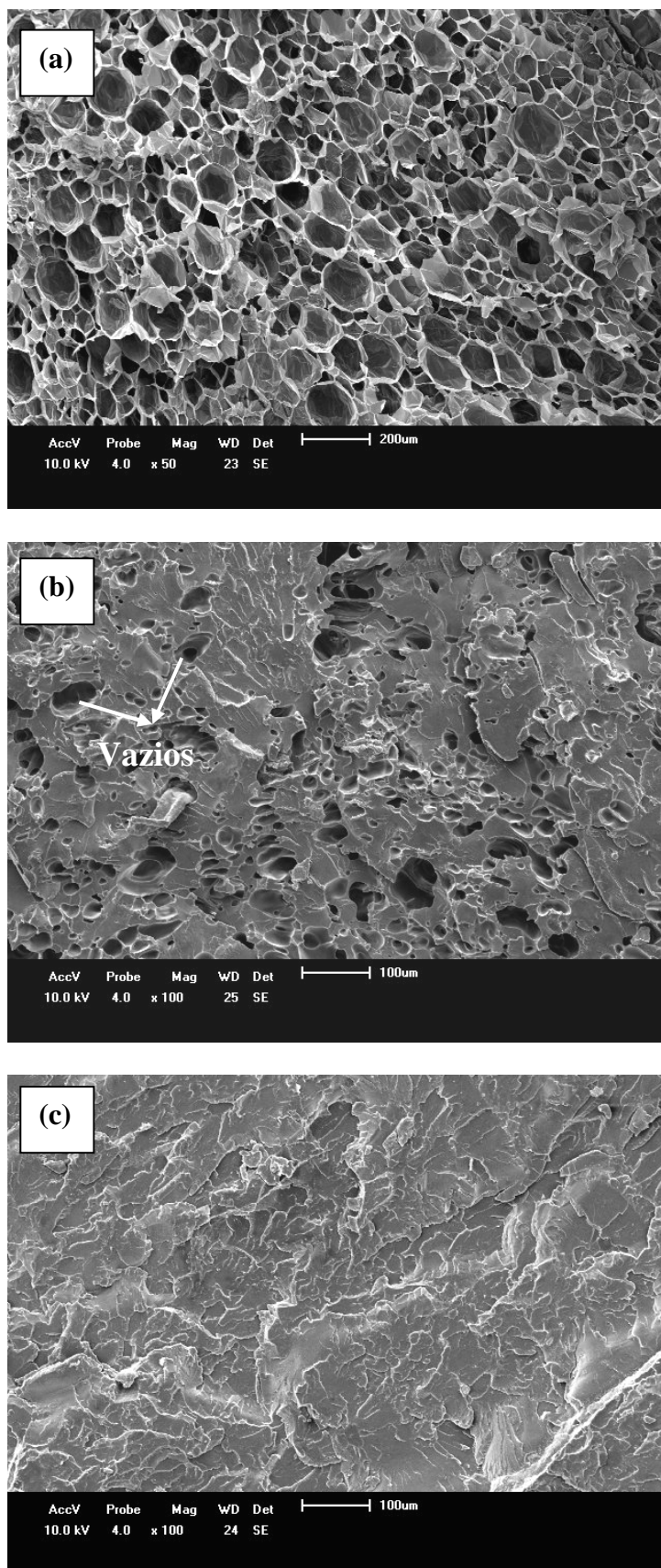


Figura 2: Morfologia do resíduo de EPS conforme recebido (a), moldado por compressão (b), extrusado e após injetado (c)



Conforme pode-se verificar na Figura 2 a morfologia do material foi mudando de acordo com o processamento realizado. A Figura 2(a) apresenta a morfologia típica do EPS, formado por esferas celulares ocas com fina espessura de parede. Na Figura 2(b), após a moldagem por compressão, observa-se a redução no teor de vazios e conseqüentemente aumento da densidade aparente, conforme apresentado na Tabela 1. Na Figura 2(c), após o processo de extrusão e injeção, não se verifica a presença de vazios no EPS-r. A densidade do EPS-r é levemente superior aos valores reportados na literatura (RUBIN, 1990) provavelmente devido à presença de impurezas no material reciclado.

Propriedades mecânicas

A Figura 2 apresenta à resistência a flexão do EPS-r e dos compósitos com diferentes teores de serragem. A adição de pó de madeira ocasionou aumento da resistência a flexão dos compósitos desenvolvidos com 10% em massa de serragem quando comparados ao EPS-r. Entretanto, para teores superiores a 10% em massa a adição de serragem gerou gradual redução da resistência a flexão.

Teores elevados de pó de madeira podem acarretar na formação de aglomerados de partículas e com isso ocasionar a falha do material (KIM, 2007). A incompatibilidade entre as partículas de madeira hidrofílicas e a matriz hidrofóbica também pode fazer com que a serragem não seja recoberta pela matriz. Desta forma, a transferência de esforços da matriz de EPS-r para as partículas de madeira não ocorre o que pode gerar compósitos com redução das propriedades mecânicas (KIM, 2007; BENGTSSON, 2007).

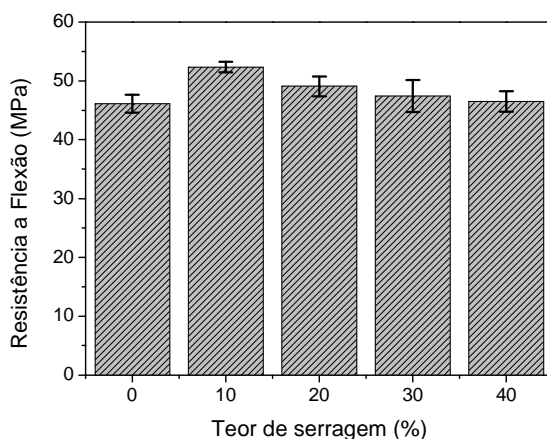


Figura 2: Resistência a flexão para os compósitos de EPS-r e serragem

O comportamento do módulo de flexão para o EPS-r e para os compósitos desenvolvidos esta apresentado na Figura 3. Nota-se aumento do módulo de flexão em relação ao EPS-r com a progressiva adição de carga para os compósitos desenvolvidos. Este comportamento pode estar associado ao fato de que as partículas de madeira possuem maior módulo (CORREA, 2003) que a matriz.

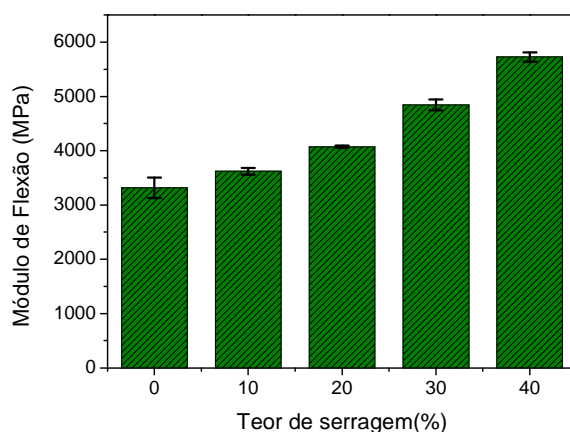


Figura 3: Módulo de flexão para os compósitos de EPS-r e serragem

A adição de serragem reduz a resistência ao impacto dos compósitos quando comparados a matriz de EPS-r, conforme pode-se verificar na Figura 4. Em geral, a adição da carga introduz regiões de fraca adesão interfacial e concentração de tensão, já que as partículas de madeira reduzem a mobilidade das cadeias poliméricas reduzindo assim a absorção de energia (CUI, 2008; NYGARD, 2008; BENGTSSON, 2007) do compósito. A baixa adesão interfacial associada com a presença de aglomerados pode reduzir ainda mais a resistência ao impacto dos compósitos (CUI, 2008; NYGARD, 2008).

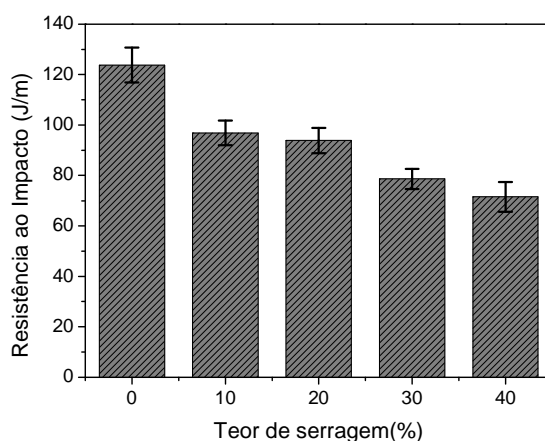


Figura 4: Comportamento da resistência ao impacto conforme a adição de serragem

Os resultados indicam que com o aumento do teor de carga ocorre também o aumento da densidade dos compósitos, visto que, o pó de madeira possui maior densidade (CARASCHI, 2002) que o EPS-r. Verifica-se que a adição de 40% em massa de serragem não causou aumento tão drástico na densidade do compósito, o que torna o material desenvolvido atrativo para a indústria, principalmente a automobilística, já que esta requer compósitos com elevadas propriedades mecânicas, porém com baixa densidade (HOLBERY, 2006).

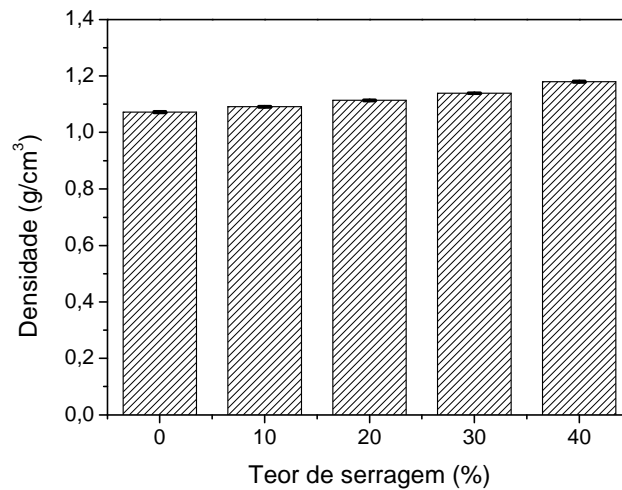


Figura 5: Variação da densidade dos compósitos conforme a adição de serragem

4 Conclusão

A metodologia adotada para a reciclagem dos resíduos de EPS mostrou-se atrativa. Após os processos de moldagem por compressão e moagem o EPS pode ser utilizado diretamente nas formulações para desenvolvimento dos compósitos sem antes ter que ser extrusado separadamente. No entanto, alternativas para reciclagem térmico/mecânica dos resíduos de EPS devem ser adotadas ainda nas centrais de triagem, visto que, os custos com logística deste material são elevados.

A utilização dos resíduos de madeira juntamente com os resíduos de EPS apresenta-se como uma possibilidade para o aproveitamento destes na produção de materiais ambientalmente amigáveis. As propriedades mecânicas avaliadas demonstram que o material compósito desenvolvido apresenta rigidez elevada, já que o módulo de flexão é aproximadamente duas vezes superior ao módulo da matriz. Contudo, a resistência a flexão dos compósitos é levemente superior a da matriz. A utilização de agentes compatibilizantes pode acarretar em maior transferência de esforços mecânicos da matriz para a serragem e assim proporcionar aumento da resistência a flexão.

Contudo o gerenciamento adequado dos resíduos de serragem, evitando que estes sejam contaminados com resíduos de madeira tratados com compostos clorados, bem como a correta segregação dos resíduos de EPS, evitando sua contaminação com matéria orgânica, é de fundamental importância para o desenvolvimento de compósitos ambientalmente amigáveis.

Referências

ASHORI, A., NOURBAKHS, A *Characteristics of wood-fiber composites made of recycled materials*. **Waste Management**, v.29, pg. 1291-1295, 2009.

BEG, M.D.H., PICKERING, K.L. *Reprocessing of wood fibre reinforced polypropylene composites. Part I: Effects on physical and mechanical properties*. **Composites Part A**, v. 39, pg. 1091-1100, 2008.



BENGTSSON, M, LE BAILLIF, M., OKSMAN, K. *Extrusion and mechanical properties of highly filled cellulose fibre-polypropylene composites*. **Composites Part A**, v. 38, pg. 1922-1931, 2007.

CARASCHI, J.C., LEÃO, A.C. *Woodflour as reinforcement of polypropylene*. **Materials Research**, v. 5, pg. 405-409, 2002.

CORREA, C.A., FONSECA, C.N.P., NEVES, S., RAZZINO, C.A., HAGE JR., E. *Compósitos termoplásticos com madeira*. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 13, pg. 154-165, 2003.

CUI, Y., LEE, S., NORUZIAAN, B., CHEUNG, M., TAO J. *Fabrication and interfacial modification of wood/recycled plastic composite materials*. **Composites Part A**, v.39, pg. 655-661, 2008.

HOLBERY, J., HOUSTON, D. *Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications*. **Journal of the Minerals, Metals, and Materials Society**, v.58, pg. 80-86, 2006.

KIM, H-S., LEE, B-H., CHOI, S-W., KIM, S., KIM, H-J. *The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites*. **Composites Part A**, v.38, pg. 1473-1482, 2007.

MOHANTY, A.K., MISRA, M., DRZAL, L.T. (ed.). *Natural fibers, biopolymers, and composites*. Boca Raton: Taylor & Francis, 2005

NYGARD, P., TANEM, B.S., KARLSEN, T., BRACHET, P., LEINSVANG, B. *Extrusion-based wood fibre-PP composites: wood powder and pelletized wood fibres – a comparative study*. **Composites Science and Technology**. v. 68, pg. 3418-3424, 2008.

POLETO, M., ZATTERA, A.J., SCHNEIDER, V.E. Gerenciamento de resíduos recicláveis: a problemática associada ao poliestireno expandido pós-consumo. **IN: VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre, 2008.

RUBIN, I. **Handbook of plastics materials and technology**. New York: John Wiley & Sons, 1990.

TSERKI, V., MATZINOS, P., PANAYIOTOU, C. *Effect of compatibilization on the performance of biodegradable composites using cotton fiber waste as filler*. **Journal of Applied Polymer Science**. v. 88, pg. 1825-1835, 2003

WEBER, C. *Situação ambiental da indústria madeireira: um estudo de caso na região do Correde – Serra/RS*. **Monografia de Especialização**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2007.