



## PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE POLIESTIRENO REFORÇADO COM CELULOSE DE BAGAÇO DE CANA

L. C. C. Jesus<sup>1\*</sup>, S. M. Luz<sup>1</sup>, R. M. Leão<sup>2</sup>, A. J. Zattera<sup>3</sup>, S. C. Amico<sup>4</sup>

**Resumo:** O EPS (poliestireno expandido) é um polímero resultante da polimerização do estireno em água e é imensamente utilizado para a confecção de embalagens. Em vista disso, é produzido em grandes proporções. Por outro lado, outro importante resíduo produzido é o bagaço de cana-de-açúcar, por conta da grande produção de açúcar e etanol no Brasil. Deste modo, este trabalho propõe o uso destes dois resíduos, combinando as suas propriedades em um único material, um compósito. Para a obtenção das fibras celulósicas, estas foram extraídas do bagaço de cana em meio fortemente alcalino (NaOH), resultando em fibras celulósicas com lignina residual. Os compósitos de PS reforçados com 10 e 20% (m/m) de fibras foram preparados em extrusora mono-rosca, seguido por dupla-rosca e moldagem por injeção. Os compósitos reforçados com as fibras naturais foram avaliados por propriedades mecânicas de tração, flexão e dureza. A superfície fraturada dos compósitos foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Observou-se que a adição de 20% (m/ m) de fibra de celulose ao poliestireno possibilitou um melhoramento das propriedades mecânicas de flexão, tração e dureza em comparação ao PS reciclado. Este resultado indicou melhor transferência de esforço da matriz para as fibras devido à melhora na interface do compósito devido à presença de lignina residual que atuou como agente compatibilizante.

Palavras chaves: poliestireno, fibra de celulose, compósito de fibra natural e propriedades mecânicas.

**Abstract:** The EPS (expanded polystyrene) is a polymer resulting from the polymerization of styrene in water and is greatly used in package manufacturing. Because of that, the entire world produced a large quantity of these residues. Meanwhile, another important agro residue is the sugarcane bagasse, because of the massive sugar and ethanol production in Brazil. Thereby, this work will propose an application of these residues, combining its properties in a single product, a composite. The pulping process in a strongly alkaline medium (NaOH) extracted the cellulosic fibers from sugarcane bagasse, resulting in cellulose fibers with residual lignin. Fibers (10 and 20% by weight) and PS were mixed by extrusion in a single-screw extruder, followed by double-screw, and then injection molding. The natural fiber composites was evaluated by tensile, flexural and hardness mechanical properties. The surface of fractured composites was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). As a result, the addition of 20 % wt of fibers to polystyrene improves the flexural, tensile and hardness properties in respect to recycled PS. This result indicates best stress transference of fibers to matrix due to the interface interaction promoted by residual lignin, which actuates as coupling agent.

Keywords: polystyrene, cellulose fiber, natural fiber composite and mechanical properties.

<sup>1\*</sup>Universidade de Brasília - Gama - Área Especial 2 Lote 14 Setor Central Gama- CEP: 72405-61 Brasília - DF, Brasil, \*luizquimica@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

<sup>3</sup>Laboratório de Polímeros (LPOL), Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, Brasil

<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)/Escola de Engenharia/ Laboratório de Polímeros e materiais (LAPOL), Porto Alegre, Brasil

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente tem surgido um grande interesse no desenvolvimento de tecnologias “ambientalmente corretas” que possibilitem a utilização de produtos de menor impacto ao meio ambiente. Os materiais poliméricos de fontes não renováveis apresentam uma forte preocupação por não serem biodegradáveis <sup>1</sup>. Neste contexto, uma alternativa para minimização do uso de parte desses polímeros, é sua parcial substituição por fibras naturais, como reforço, as quais apresentam grande inovação para aprimorar o desempenho de materiais poliméricos em aplicações tecnológicas, uso de uma menor quantidade do polímero no compósito em relação puro, baixo custo, maior biodegradabilidade e abundância <sup>2</sup>.

Os materiais compósitos são materiais que combinam características de dois ou mais materiais diferentes, geralmente um reforço e uma matriz. As fibras podem ser sintéticas (por exemplo, vidro, carbono, aramida e basalto) ou naturais (curaua, juta, sisal, banana, celulose e linhaça). No entanto, as fibras naturais apresentam diversas vantagens em relação às sintéticas, tais como boa resistência à tração e elevado módulo de elasticidade e baixa densidade <sup>3</sup>.

A celulose está presente em todas as plantas na natureza e esta pode ser extraída a partir de resíduos agroindustriais, como o bagaço de cana-de-açúcar. Este bagaço é proveniente da produção do açúcar e etanol, maior subproduto da indústria sucroalcooleira. Estima-se que cerca de 12 milhões de toneladas de bagaço são gerados anualmente <sup>4</sup>.

A celulose apresenta boa cristalinidade e boa resistência mecânica, melhor do que o bagaço *in natura*. Desta forma, é necessário fazer a polpação do bagaço de cana, para extrair a fibra de celulose a fim de obter compósitos mais resistentes <sup>4</sup>. Segundo CANEVAROLO Jr <sup>5</sup>, à medida que o grau de cristalinidade de um material aumenta, cresce o módulo de Young, a resistência ao escoamento e a dureza. Considerando-se que a distribuição de tensões em uma matriz polimérica é uniforme em todos os seus pontos, a presença de uma segunda fase dispersa nesta matriz também sentirá a solicitação aplicada ao conjunto. Se o módulo de elasticidade desta segunda fase for maior que a matriz, o resultado final será um aumento nas propriedades mecânicas do compósito <sup>5</sup>.

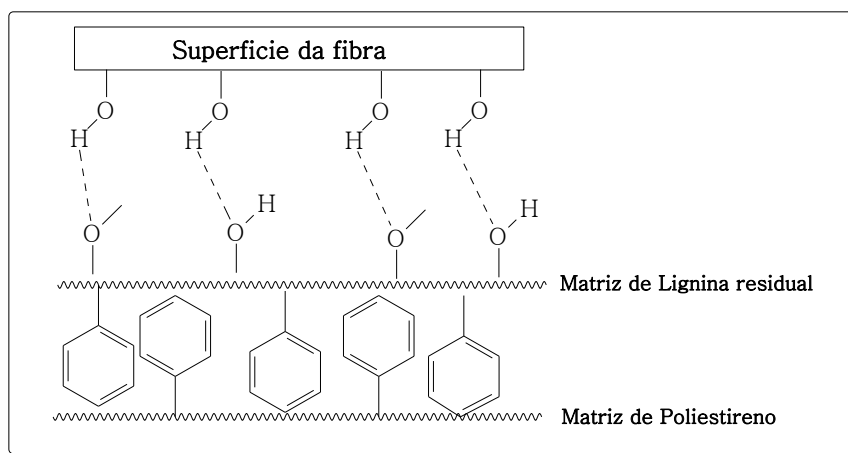
O Brasil e o mundo geram uma quantidade significativa de resíduos de polímero entre eles o poliestireno expandido (EPS). Apesar da baixa densidade, o EPS ocupa um grande volume, o que torna o transporte oneroso e, portanto, eleva-se o custo da reciclagem. Grande parte das cooperativas, associações e empresas do setor não aceitam nem mesmo doações de pequena quantidade deste material <sup>6</sup>. Nos aterros e lixões, além de ocupar muito espaço, há saturação com mais rapidez nos espaços destinados ao lixo. Outra dificuldade na reciclagem do EPS é que caso este seja incinerado, ele libera gás carbônico que polui a atmosfera contribuindo para o aumento do efeito estufa acelerando o aquecimento global <sup>6</sup>.

A utilização tecnológica de um material novo submetido a um esforço mecânico depende de um estudo prévio detalhado de suas propriedades mecânicas para que essa aplicação alcance o êxito desejado. O desempenho dos compósitos é influenciado pelas propriedades de seus materiais constituintes da fibra e da matriz, sua distribuição, fração volumétrica e interação entre eles <sup>7</sup>. Uma importante ferramenta para determinação das propriedades mecânicas são os ensaios de tração, flexão e dureza (shore D), obtendo-se inestimáveis informações sobre as características dos compósitos poliméricos <sup>8</sup>. Estas propriedades sofrem forte influência da adesão fibra/ matriz nos compósitos <sup>9</sup>.

A adesão pode ocorrer a partir do encaixe mecânico das cadeias da matriz polimérica em rugosidades existentes na superfície da fibra, por atração eletrostática, por forças de van der Waals ou formação de fortes ligações <sup>9</sup>. Uma boa interação na interface fibra/ matriz é importante para uma efetiva transferência da carga aplicada sobre a matriz e a fibra, o que acarreta em um aumento do módulo de resistência do material. As fibras, responsáveis por suportarem a maior parte da carga aplicada, são mais resistentes que a matriz <sup>10</sup>. Entretanto, para que exista uma interação eficaz na interface fibra/ matriz são necessários grupos funcionais atuando na região interfacial, ou seja, interações intermoleculares <sup>11</sup>.

Neste presente trabalho, a lignina residual ainda presente sobre as fibras de celulose pode agir como agente compatibilizante devido as suas características apolares ricas em anéis aromáticos, podendo ser compatível o EPS, que também apresenta anéis aromáticos em sua estrutura <sup>12</sup>. Como pode ser observado na representação da Fig. (1), na interface entre a fibra de celulose e a matriz do poliestireno pode ocorrer à formação de ligações intermoleculares como as forças de Van der Waals entre elementos constituintes do

reforço e a lignina, e por outro lado, a formação de entrelaçamento entre as cadeias poliméricas da matriz do poliestireno e a lignina.



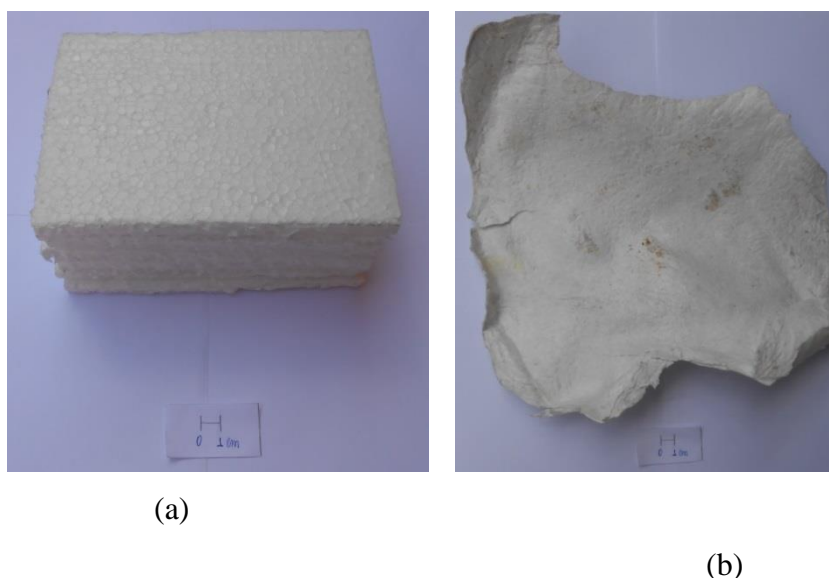
**Figura 1:** Proposta de interação entre a lignina ligada à celulose e o anéis aromáticos do PS.

O baixo custo e o alto valor agregado do EPS e do bagaço de cana faz com que exista um grande interesse sobre esses materiais gerando um produto de interesse tecnológico e ambientalmente correto. Desta forma, o principal objetivo deste trabalho é obter e caracterizar mecanicamente os compósitos de poliestireno pós-consumo reforçado com celulose de bagaço de cana-de-açúcar por meio de ensaio de tração, flexão e dureza. Analisando a microestrutura e os mecanismos de falha dos corpos de prova fraturados de PS reciclado e dos compósitos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 RECICLAGEM DO EPS

Os resíduos de poliestireno expandido (EPS) passaram por uma seleção inicial onde foram extraídos adesivos e objetos estranhos, manualmente. Os EPS's pós consumo foram comprimidos a temperatura de 130°C, e pressão de 8 ton por 3 min visando o aumento da densidade. Foram utilizadas duas prensas hidráulicas térmicas para a perfeita compressão do EPS. A primeira prensa da marca Wabash Hydraulic Press, modelo 12 – 12 – 2TWC e a segunda prensa térmica marca MF Ltda modelo 15. Neste trabalho, a partir deste momento, o EPS prensado será denominado PS reciclado. A Fig. 2 apresenta a aparência do EPS antes da compressão e após a compressão.



**Figura 2:** (a) Poliestireno antes da compressão; (b) poliestireno após a compressão.

## 2.2 OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

As fibras e o EPS foram misturados numa extrusora monorosca, com um perfil de temperatura a 140°C, 160°C e 180°C e, em seguida, com mistura em extrusora de dupla rosca com o perfil de temperatura de 115°C, 150°C, 185°C, 185°C, 175°C, 175°C e 170°C. Após a mistura, corpos de prova de tração, flexão e dureza foram preparados por meio de moldagem por injeção a 180°C e 300 bar de pressão. Compósitos de PS reforçados com 10 e 20 % em massa de fibras foram obtidos. O PS puro também foi injetado nas mesmas condições a fim de comparação.

## 2.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO

Em uma máquina universal de ensaios EMIC DL 2000 foram realizados os ensaios de flexão e tração. A velocidade utilizada para o ensaio de tração foi de 5 mm/ min e para flexão foi 1,5 mm/ min. O ensaio de flexão foi feito de acordo com a ASTM D790 (ASTM, 2004)<sup>13</sup> e o ensaio de tração foi realizado de acordo com a ASTM D638 (ASTM, 2002)<sup>14</sup>. Todos os ensaios foram realizados em quintuplicata.

## 2.4 ENSAIO DE DUREZA

O equipamento utilizado para o ensaio de dureza de shore D foi durômetro Modelo Wulstest SD 300, seguindo a norma ASTM D2240 (ASTM, 2000)<sup>15</sup>. Assim como nos ensaios de tração e flexão os ensaios foram feitos em quintuplicata.

## 2.5 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

A superfície da fratura dos corpos de prova fraturados durante os ensaios de flexão e tração foi recoberta com ouro utilizando-se um metalizador por um tempo de exposição de 3 min antes das análises. A análise de MEV foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura da marca SHIMADZU, modelo Superscan SS-500, com uma tensão de aceleração de 15 kV.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 PROPRIEDADES DE TRAÇÃO DOS COMPÓSITOS CELULOSE/PS

Considerando os módulos de elasticidade, houve um acréscimo do módulo em tração dos compósitos reforçados com fibras de celulose em comparação ao PS reciclado, conforme é mostrado na Tabela 1. A rigidez dos compósitos reforçados com 10 e 20% m/m de fibras exibiram um aumento de 15,54 e 27,35%, respectivamente, comparados ao PS reciclado.

**Tabela 1:** Propriedades de tração do PS reciclado em comparação aos compósitos.

<b>Materiais</b>	<b>Resistência à Tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade em Tração (MPa)</b>	<b>Deformação (%)</b>
PS reciclado	29,72 ± 2,01	19,05 ± 0,07	2,82 ± 0,20
Compósito de celulose 10% (m/m)/ PS	30,95 ± 2,34	22,01 ± 0,30	2,82 ± 0,20
Compósito de celulose 20% (m/m)/ PS	33,31 ± 1,62	24,26 ± 0,30	2,52 ± 0,13

De acordo BORSOI<sup>16</sup>, quando se aumenta o teor de fibras, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas, aumentando assim a resistência do compósito, como também a rigidez do material. Nos ensaios mecânicos pode-se observar que o compósito reforçado com 10% (m/m) de celulose apresentou tensão de ruptura 4,13% superior ao PS reciclado. Já a resistência à tração do compósito reforçado com 20% (m/m) apresentou 12,07% superior ao PS reciclado.

A partir deste ensaio de tração notou-se que o material reforçado com 20% em massa de fibra de celulose apresentou uma maior estabilidade mecânica que o PS reciclado. Pode-se observar ainda que a deformação do compósito diminuiu com a adição de fibra de celulose, corroborando com a maior rigidez do compósito em relação ao PS reciclado.

Segundo RIBEIRO *et al.*<sup>17</sup>, a rigidez do poliestireno está relacionada à estrutura química do PS que possui anéis aromáticos em suas cadeias laterais que conferem rigidez a este polímero tornando um polímero vítreo. Deste modo, quando é inserida a fibra, esta incorpora também a rigidez do reforço à matriz, contribuindo assim para o aumento da rigidez do material compósito. GRASSI<sup>18</sup>, também observou este fenômeno em seus experimentos, argumentando que a incorporação de uma segunda fase cristalina, como a celulose, em uma matriz vítrea de um polímero aumenta sua tenacidade.

### 3.2 PROPRIEDADES DE FLEXÃO DOS COMPÓSITOS DE CELULOSE/PS

O módulo de flexão dos compósitos reforçados com fibras aumentou comparado ao polímero reciclado, conforme é mostrado na Tabela 2. A rigidez, módulo de elasticidade em flexão, dos compósitos reforçados com 10 e 20% m/m de fibras apresentaram um aumento de 18,03 e 30%, respectivamente, comparados ao PS reciclado.

**Tabela 2:** Propriedades de flexão do PS reciclado em comparação aos compósitos.

<b>Materiais</b>	<b>Resistência à Flexão (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade em Flexão (MPa)</b>
PS reciclado	33,85 ± 4,13	2613,5 ± 21,22
Compósito de celulose 10% (m/m)/ PS	39,14 ± 2,79	3084,87 ± 50,90
Compósito de celulose 20% (m/m)/ PS	44,11 ± 2,84	3394,86 ± 45,55

Segundo NETO e PARDINI<sup>19</sup>, o valor do módulo de elasticidade quantifica a rigidez do compósito e é um parâmetro imprescindível quando se necessita calcular as deformações e os modos de vibração de um componente estrutural. Quanto maior é o seu valor, maior será o esforço a ser feito para deformar um material. Com isso, pode-se afirmar que o aumento da quantidade de reforço influenciou diretamente nas propriedades dos compósitos. Verificando a Tabela 2, pode-se dizer que a resistência e o módulo de elasticidade em flexão dos compósitos foram superiores ao poliestireno reciclado. Ao

inserir fibras de celulose na matriz de PS houve um ganho significativo na resistência atingindo até 15,6% e 30,3% de aumento (compósito reforçado com 10 e 20% m/m, respectivamente) comparado ao PS reciclado. De acordo com POLETTO<sup>12</sup>, o aumento tanto da resistência à flexão, como do módulo de elasticidade para os compósitos de PS reforçados com fibras de celulose, pode indicar a melhor transferência de esforço da matriz para o reforço lignocelulósico na interface decorrente da provável ocorrência de ancoramento mecânico na superfície da fibra.

### 3.3 DUREZA (SHORE D) DOS COMPÓSITOS DE CELULOSE/PS

Verificou-se que em relação ao compósito de celulose 10% (m/m)/ PS não houve mudança significativa em termos da dureza em relação ao PS reciclado, conforme pode ser observado na Tabela 3. De acordo com BORSOI<sup>2</sup> este efeito ocorreu, devido à possível não uniformidade na distribuição das fibras. Um efeito contrário foi observado com o aumento de fibras para 20% em massa, com um pequeno aumento da dureza.

**Tabela 3:** Dureza dos compósitos comparados ao PS reciclado.

PS reciclado	Compósito de celulose 10% (m/m)/ PS	Compósito de celulose 20% (m/m)/ PS
77,89 ± 1,05	76,67 ± 2,35	79,00 ± 0,71

De acordo com PAIVA *et al.*<sup>20</sup>, as fibras naturais podem diminuir a resistência mecânica à penetração que pode ser consequência da higroscopicidade das fibras. Esta propriedade acarreta um maior teor de umidade, e as moléculas de água teriam um efeito plastificante na superfície por isso a necessidade secar as fibras em estufa por 24 horas antes da produção dos compósitos. Como o teste é feito na superfície, as fibras celulósicas podem absorver umidade e diminuir dureza. Visto que na estrutura da fibra de celulose possui grupos hidrofílicos. A lignina que é encontrada na fibra juntamente com a celulose também leva a uma diminuição da dureza, o que ser explicado nas interações entre os grupos etílicos e hidroxiliônico da lignina e a água. Em um trabalho semelhante ao aqui estudado, TEXEIRA e CÉSAR<sup>21</sup> produziram compósitos com resina de poliéster e resíduo de madeira e verificaram a homogeneidade e a quantidade de material lignocelulósico pode influenciar na dureza dos materiais.



### 3.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) DAS FIBRAS E DOS COMPÓSITOS

De acordo MARINELLI *et al.*<sup>22</sup>, a extração da fibra de celulose do bagaço de cana-de-açúcar com solução de hidróxido de sódio melhora as propriedades adesivas da superfície removendo as impurezas. Este processo tem sido muito utilizado para tratar fibras naturais em geral. Através desse tipo de extração, a tensão superficial e conseqüentemente a molhabilidade das fibras se tornam maiores, melhorando também as ligações químicas por meio do entrelaçamento entre a matriz e a superfície das fibras. Também melhora no desfibrilamento das fibras, ou seja, a desagregação das fibras em microfibras, aumentando assim a área superficial efetiva disponível para o contato com a matriz.

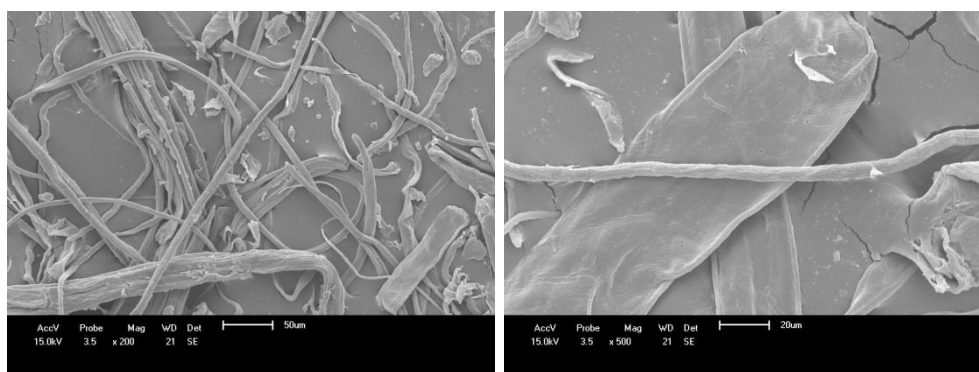
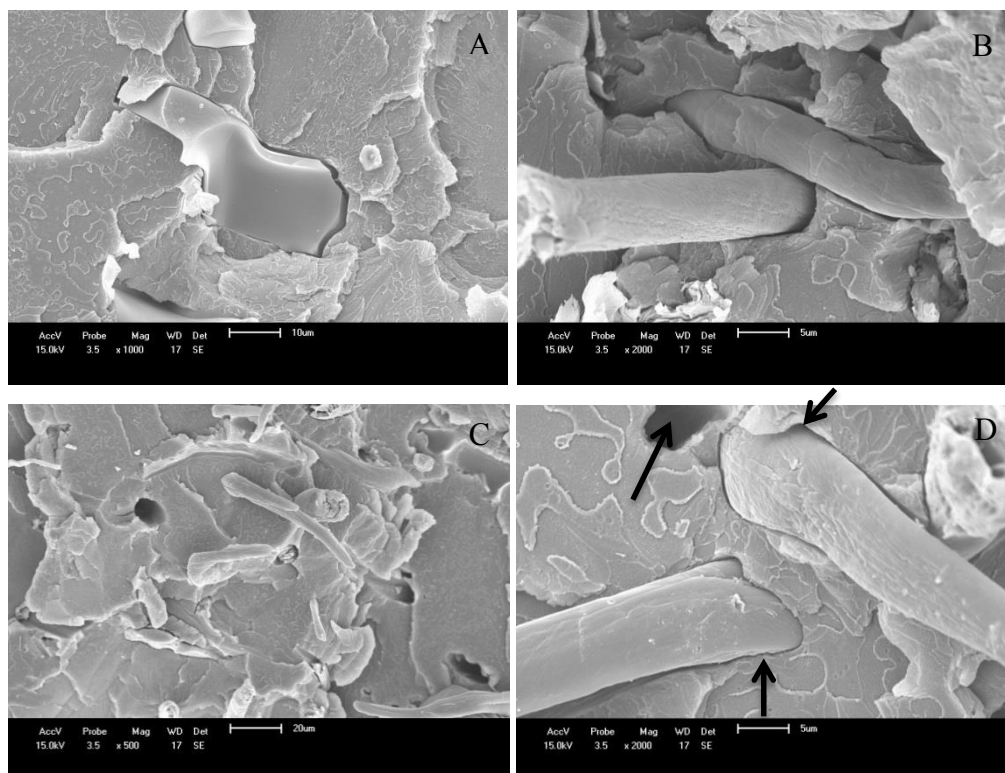


Figura 3: Micrografias de MEV das fibras de celulose.

O MEV das fibras celulósicas pós-extração é apresentado na Fig. (3), onde se verificou a conversão de fibras em microfibrilas. Neste tipo de tratamento ocorre a quebra das ligações de hidrogênio que unem as cadeias de celulose, estas auxiliam no ancoramento mecânico.

O efeito do acoplamento das fibras celulósicas na matriz do poliestireno foi verificado também por MEV. Na Fig. (4) estão apresentadas as micrografias obtidas do PS reciclado e dos compósitos. De acordo com JOSEPH<sup>23</sup> a resistência mecânica dos compósitos com baixa fração volumétrica de fibra é pouco influenciada pela presença dessas. Acima de uma fração crítica, a resistência dos compósitos aumenta com o aumento do teor de fibras na matriz polimérica, como se pôde verificar com os compósitos com de 10% e 20% m/m de fibra de celulose por meio dos ensaios de tração, flexão e dureza comparados ao PS reciclado.

Verificou-se que os compósitos exibiram microvazios como se pode observar na Fig. (4) D. De acordo com MARINELLI *et al.*<sup>22</sup> quanto menor a quantidade de microvazios, melhores são as propriedades mecânicas dos materiais. A presença de microvazios na matriz polimérica, em quantidade acima de 20% do volume do material é provavelmente responsável por diminuir a resistência mecânica.



**Figura 4:** Micrografias de MEV do PS reciclado (A), compósitos de celulose 10% (m/m) / PS (B) e celulose 20% (m/m) / PS (C) e vazios entre a matriz e fibra.

Observa-se ainda que os compósitos com fibras de celulose como reforço apresentam adesão entre as fibras e a matriz de poliestireno, pois as fibras não estão “soltas”, sugerindo que sofreram rupturas durante o ensaio de tração. Observa-se que este compósito apresenta fibras que sofreram certa deformação<sup>24</sup>. Verificou-se também a ocorrência de propagação de fratura ao redor das fibras. Sabe-se que fibras celulósicas possuem arranjos celulares que podem desviar a trajetória da trinca<sup>25</sup>. Portanto em compósitos com essas fibras, a trinca não possui uma trajetória reta porque ela se desloca em volta das células das fibras e finalmente cessam<sup>25</sup>.

A Fig. (3) mostra a fratura dos compósitos após o ensaio de tração, na qual se verifica a existência de vários mecanismos de fratura, tais como quebra de fibra (quando há certa adesão) e propagação de fratura em volta da fibra. Observa-se também que as fibras de celulose estão recobertas pela matriz (pequenos cristais de matriz), indicando adesão entre a matriz e a fibra <sup>25</sup>.

Segundo FENGEL e WEGENER<sup>26</sup> a lignina é principal constituinte da parede celular, e também de natureza polimérica e tridimensional, extremamente complexas, formadas pela polimerização desidrogenativa. Constitui-se de unidades de fenil-propano unidas por ligações C-O-C e C-C e com diferentes teores de grupos alcóolicos metoxílicos. Os resultados significativos nas propriedades mecânicas mostram que houve uma forte adesão entre a celulose e a matriz polimérica devido à lignina residual.

#### **4. CONCLUSÕES**

O uso da fibra de celulose de bagaço com lignina residual favoreceu o desempenho mecânico dos compósitos. A lignina pode ter atuado como agente compatibilizante possibilitando o efeito compatibilização entre a fibra e matriz polimérica do poliestireno. Observou-se que a adição de 20% (m/ m) de fibra de celulose ao poliestireno possibilitou um melhoramento das propriedades mecânicas de flexão, tração e dureza em comparação ao PS reciclado. Este resultado indica melhor transferência de esforço da matriz para as fibras devido à melhora na interface do compósito provocado pela lignina residual. Finalmente conclui-se que a utilização de EPS como matriz em compósitos reforçados com fibras naturais é viável, permitindo sugerir ao mercado de reciclagem, uma excelente alternativa para o aproveitamento deste resíduo.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem aos laboratórios de polímeros (LPOL) da UCS, de polímeros (LAPOL) da UFRGS e IBAMA e o apoio financeiro do Decanato de Pós-Graduação/UnB, Capes e CNPq.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- SILVA. R, HARAGUCHI. S. K, MUNIZ. E. C, RUBIRA A. F; **Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos**, *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 3, 661-671, 2009
- 2- BORSOI. C, SCIENZA. L. C, ZATTERA . A. J, **Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço Polímeros**, vol. 21, nº 4, p. 271-279, 2011
- 3- JÚNIOR. J. H. S. A, JÚNIOR. H. L. O, FORNARI. A. M. D, AMICO. S. C, AMADO. F. D. R, **Dynamic mechanical properties of hybrid curaua/glass composites** 1<sup>ST</sup> Brazilian Conference on Composite Materials - BCCM1 Natal-RN, July 16-19, 2012
- 4- SILVA. R; HARAGUCHI. S. K; MUNIZ. E. C; RUBIRA, A. F; **Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos** *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 3, 661-671, 2009
- 5- CANEVAROLO Jr. S. V, **Ciências dos polímeros**, Artliber, 2<sup>a</sup> edição, 191 p á 224 p, 2010
- 6- GROTE, Z. V.; SILVEIRA. J. L. **Termodinâmica de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor): um estudo de caso**. In: Proceedings of Jornada de Iniciação Científica e Pós Graduação. Guaratinguetá, SP, 2001.
- 7- MORAIS. D.S., NEVES. O.N.E., DIAS. C.G.B.T., **Análise das propriedades mecânicas de compósitos biodegradáveis à base de pectina/EVA com fibra de coco**, Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de Materiais, Foz do Iguaçu/PR, Brasil, 2006
- 8- MARINHO. N. P, NASCIMENTO E. M, NISGOSKI. S, MAGALHÃES W. L. E, NETO. S. C, AZEVEDO E. C, **Caracterização Física e Térmica de Compósito de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Associado com Partículas de Bambu**, *Polímeros*, vol. 23, n. 2, p. 201-205, 2013

- 9- BURADOWSKI, L. e REZENDE, M.C. **Modificação da rugosidade de fibras de carbono por método químico para aplicação em compósitos poliméricos.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, v. 11, p. 51-57, 2001.
- 10- CALLISTER Jr. W.D; RETHWISCH. D.G; **Ciência e engenharia de materiais**, 8ª edição, LTC, 128 p à 161 p, 2012.
- 11- DILSIZ, N.; WIGHTMAN, J.P. **Effect of acid-base properties of unsized and sized carbono fibers on fiber/epoxy matrix adhesion.** Colloids and Surfaces A, v. 164, p. 325-336, 2000.
- 12- POLETTO. 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/BR, 2008
- 13- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL STANDARDS (ASTM). ASTM D790: **Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**, EUA, 2004.
- 14- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL STANDARDS (ASTM). ASTM D638: **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, EUA, 2002.
- 15- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL STANDARDS (ASTM). ASTM. ASTM 2240: **Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness**, EUA, 2000.
- 16- BORSOI. C, BERWIG. K, SCIENZAC. L. C, ZOPPASD. C. D. A, BRANDALISEA. R. N, ZATTERA. A, **Behavior in simulated soil of recycled expanded polystyrene/waste cotton composites**, Materials Research. 2014; 17(1): 275-283 DDI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392013005000167>
- 17- RIBEIRO V. F, DOMINGUES JR N. S, RIEGEL I. C, **Estudo da Recuperação das Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) através da Incorporação de Borracha, Termoplástica Tipo Estireno-Butadieno-Estireno (SBS)** Polímeros, vol. 22, n. 2, p. 186-192, 2012
- 18- GRASSI, V. G, **Estrutura vs propriedades em HIPS Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 11, nº 3, p. 158-168, 2001

- 19- NETO. F. L.; PARDINI. L. C; **Compósitos estruturais, ciência e tecnologia**, Edgar Blucher, 2006, 1ª edição, 01 p á 10 p
- 20- PAIVA. J. M, TRINDADE. W. G, FROLLINI. E, **Compósitos de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais**, Polímeros: Ciência e Tecnologia – 1999
- 21- TEXEIRA. M. G, CÉSAR. S. F, **Produção de compósito com resíduo de madeira no contexto da ecologia industrial**, Anais do 10º encontro brasileiro em madeira e em estrutura de madeira – EBRAMEM – 2006
- 22- MARINELLI. A. L, MONTEIRO. M. R, AMBRÓSIO. J. D, BRANCFORTI. M. C, KOBAYASHI. M, NOBRE. A. D, **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: Uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica**, Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008
- 23- JOSEPH, K.; MEDEIROS E. S. & CARVALHO, L. H. - **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 9, p.136, 1999.
- 24- JU, C. P.; MURDIE, N. - **Microstructure of Pitch Fiber-Phenolic/ CVI Matrix Carbon-Carbon Composite**. Materials Chemistry and Physics, v. 34, p.244-250, 1993.
- 25- CHAND, N.; VERMA, S.; ROHATGI, P. K. - **Tensile, Impact and Moisture Studies of Sisal-Polyester Composites**. Trop. Sci., v.27, p.215-221, 1987.
- 26- FENGEL. D, WEGENER . G, **Wood: Chemistry, Ultrastructures, reactions**. Germany: Water de Gruyter, 612p ,2003.