

Propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de Polipropileno pós-consumo reforçados com fibras de celulose

Thermal and mechanical properties of post-consumer polypropylene composites reinforced with cellulose fibers

Carolini Spadetti¹, Eloi Alves da Silva Filho^{1*}, Geovane Lopes de Sena¹ e Carlos Vital Paixão de Melo¹

¹Programa de Pós-graduação em Química, Departamento de Química, Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, ES, Brazil

*eloisilv@gmail.com

Resumo

Foram investigadas as propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de polipropileno reciclado e virgem, reforçados com até 40% em peso de fibras de celulose (FC), bem como a morfologia da matriz polimérica. Para a obtenção dos dados, foram utilizadas as técnicas de Análise Térmica Dinâmico-Mecânica (DMTA), Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Os resultados mostraram que os compósitos de polipropileno reciclado, com percentagem de 30% FC e os compósitos de polipropileno virgem, com percentagem de 20% FC, tiveram um aumento significativo nos valores de módulo de armazenamento (E') e grau de cristalinidade (χ_c), indicando com isso uma resistência mecânica mais elevada. Já nas amostras com 40% FC, houve uma diminuição na rigidez do material. Estes resultados foram confirmados por MEV, onde observou-se a aglomeração das fibras de celulose na matriz. Não houve alteração nas temperaturas de transição vítrea (T_g) e fusão cristalina (T_m) dos compósitos produzidos.

Palavras-chave: *compósitos de polipropileno, fibras de celulose, compósitos pós-consumo.*

Abstract

The thermal and mechanical properties of composite recycled and virgin of polypropylene were investigated, reinforced with up to 40% by weight of cellulose fibers (FC), as well as the morphology of the polymer matrix. To obtain the data, techniques for Dynamic-Mechanical Thermal Analysis (DMTA) were used, Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The results showed that recycled polypropylene composites with a percentage of 30% FC and virgin polypropylene composites with a percentage of 20% FC had a significant increase in storage modulus values (E') and degree of crystallinity (χ_c), indicating a higher mechanical strength in these composites. Since the samples with 40% FC, there was a decrease in the stiffness of the material. These results were confirmed by the SEM, where noted agglomeration of the cellulose fibers in the matrix. There was no change in the glass transition temperature (T_g) and crystalline melting temperature (T_m) of the produced composite.

Keywords: *polypropylene composite, cellulose fibers, post consumer composite.*

1. Introdução

A preocupação com os problemas ambientais e a diminuição dos recursos petrolíferos mundiais, juntamente com a falta de aterros sanitários, promoveram o desenvolvimento de materiais plásticos alternativos, tais como os plásticos verdes^[1], que fornecem uma forma alternativa para a resolução destes problemas, pois consistem na utilização dos resíduos oriundos de atividades agrícolas, como fibras naturais, combinados com a matriz de polímero derivado do petróleo ou de recursos renováveis para a produção de um produto útil, utilizado nas aplicações diárias. Essa combinação de fibras com polímeros, também é conhecida como compósito, que é um material multifásico, que possui dois ou mais componentes, com propriedades diferentes, que juntos, irão produzir um material com a combinação dessas propriedades. São formados por

uma fase chamada de matriz ou contínua, e outra fase que é envolvida na matriz, a fase dispersa^[2].

A produção de compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais, têm sido cada vez mais utilizada devido ao baixo custo da matéria-prima, biodegradabilidade e pelas propriedades mecânicas adequadas conferidas ao compósito^[3], além de possuírem uma excelente combinação de rigidez estrutural e baixo peso. Esse destaque dado as fibras vegetais, se deve por serem abundantes, não-tóxicas, de baixo custo, de baixa densidade e não abrasivas, podendo então, servir como um excelente agente de reforço para os polímeros, uma vez que suas propriedades mecânicas são comparáveis às de outros reforços comumente empregados^[4]. As mais comuns utilizadas como material de reforço em

compósitos termoplásticos são materiais lignocelulósicos (que consistem de celulose, hemicelulose, lignina) e fibras celulósicas^[5]. As fibras podem ser oriundas de diversas fontes, como bagaço de cana, sisal, algodão, coco, celulose e outros. A celulose é o componente principal da madeira e o material natural mais abundante. Geralmente, a celulose contém ambas as regiões amorfas e cristalinas^[5].

O polipropileno (PP) é o polímero mais comumente utilizado como matriz em compósitos de fibras naturais na última década^[6], que de acordo com a literatura^[7], é capaz de competir com plásticos de maior custo no mercado e ser utilizado em várias aplicações, devido à sua baixa temperatura de processamento, suas propriedades mecânicas amplas, à sua cristalinidade, ponto de fusão relativamente alto, fase cristalina que mantém resistência mecânica à altas temperaturas, disponibilidade e custo, baixa densidade e alta rigidez.

O desenvolvimento dessa tecnologia, é uma consequência da busca incessante por melhores propriedades^[8], no entanto, tal como outros materiais poliméricos, a reciclagem do polipropileno degrada as suas propriedades mecânicas e térmicas, devido às altas temperaturas envolvidas no processo^[9]. As propriedades inferiores ao PP reciclado, em comparação com as de PP virgem, podem ser melhoradas pela incorporação de fibras sintéticas ou naturais^[5].

Normalmente, o preço do plástico reciclado é 40% mais baixo do que o da resina virgem^[10], e além disso, existem outras vantagens da reciclagem como a redução do consumo de matéria-prima não renovável (petróleo), o menor consumo de energia elétrica na produção do reciclado quando comparado à energia utilizada na síntese do plástico virgem e a redução do volume de resíduo plástico em lixões e aterros sanitários com aumento da sua vida útil^[11]. A produção de materiais com boas propriedades mecânicas e aparência atrativa para utilização em diversas áreas como construção civil, mobiliária e doméstica, contribui para tornar a reciclagem uma atividade lucrativa, além de reduzir o impacto ambiental causado pela industrialização^[11]. Sendo assim, a reciclagem mecânica fornece uma ótima alternativa de valorização de materiais poliméricos desde que sejam conhecidas e respeitadas as limitações e potenciais desses materiais^[11].

Devido a essas limitações, são crescentes as exigências por parte das indústrias quanto à relação custo/benefício, segurança e desempenho entre outras. O estudo e a compreensão dos efeitos futuros e das propriedades viscoelásticas do compósito polimérico são imprescindíveis para que estes materiais sejam desenvolvidos de forma adequada, permitindo sua aplicação em uma grande variedade de áreas^[12].

No presente trabalho foram estudados os efeitos da inserção das fibras de celulose, na matriz polimérica de polipropileno virgem (PPV) e reciclado (PPR), em diferentes composições e posteriormente caracterizados, fornecendo assim importantes informações sobre a qualidade do plástico reciclado em relação às propriedades mecânicas e térmicas desses compósitos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Fibras de celulose

A fibra de celulose (FC) foi doada pela empresa FIBRIA, ES, na porcentagem de 70% de celulose. A secagem e análise granulométrica foram realizadas utilizando 100 g da fibra à 55 °C por 24h, e após moída em peneira com granulométrica de 35 Mesh adquirida da Bertel Indústria Metalúrgica Ltda. A fibra de celulose foi utilizada como reforço em compósitos com duas matrizes de polipropileno (PP) de origem diferentes, polipropileno virgem (PPV) do fabricante Sigma-Aldrich, 340 kg/mol, na forma de grânulos e o polipropileno reciclado (PPR) pós-consumo de copos descartáveis utilizados na empresa VALE, situada na cidade de Vitória, ES. Ambos foram moídos no moinho modelo Cutting Mills SM 300 da Retsch GmbH, com rotação de 1500 rpm, com peneira de 1mm.

2.2 Preparação e caracterização dos compósitos

Os compósitos foram preparados em câmara de mistura fechada (HaakeMiniLab II) da ThermoScientific, equipada com reômetro de torque e dois rotores contrarrotatórios operando a 100 rpm e temperatura de 190 °C. Uma mistura (com massa total de 5 g) contendo o polipropileno e diferentes porcentagens das amostras de fibras de celulose foi processada num período de 5 min para cada amostra de compósito, como é mostrado na Tabela 1, onde os corpos de prova foram confeccionados, pelo processo de injeção na injetora MiniJet II da ThermoScientific.

A caracterização dos compósitos de PP foi realizada por três tipos de técnicas, sendo a primeira por Análise Térmica Dinâmico-Mecânica (DMTA) no equipamento DMA Q800-TA, em modo *dual cantilever* -30 a 180 °C, com taxa de aquecimento de 2 °C/min a uma frequência de 1 Hz, de acordo com a norma ASTM D5023-99. A segunda por Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), para a determinação da temperatura de fusão cristalina (T_m) e o grau de cristalinidade (χ_c) no equipamento Q200-TA, onde as amostras foram submetidas à aquecimento de 50 até 200 °C, sob atmosfera de argônio 100mL/min e com taxa de 10 °C/min. E a terceira por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), onde as amostras contendo PPV/FC e PPR/FC foram fraturadas criogenicamente, e posteriormente recobertas por uma fina camada de ouro e observadas no equipamento da JEOL JSM-6610LV, utilizando voltagem de

Tabela 1. Composição dos compósitos.

AMOSTRA	PP (% em peso)	FC (% em peso)
*PPR PURO	100	-
*PPR / 10FC	90	10
*PPR / 20FC	80	20
*PPR / 30FC	70	30
*PPR/ 40FC	60	40
**PPV PURO	100	-
**PPV / 10FC	90	10
**PPV / 20FC	80	20
**PPV / 30FC	70	30
**PPV / 40FC	60	40

*Compósitos produzidos com PP reciclado. **Compósitos produzidos com PP virgem.

aceleração do feixe de elétrons de 10 kV, onde se analisou a morfologia dos compósitos produzidos.

Já para a caracterização das amostras de polipropileno puro, foi utilizada a técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), onde as amostras foram empacotadas em rotores de zircônia de 4 mm de diâmetro e submetidas a experimentos de RMN de ^{13}C no estado sólido em um espectrômetro da Varian-Agilent 400 MHz, com frequências de ressonância iguais a 399,73 e 100,52 MHz para ^1H e ^{13}C , respectivamente. Os espectros de RMN foram adquiridos com a sequência de polarização cruzada (CP, $^1\text{H} \rightarrow ^{13}\text{C}$) juntamente com rotação em torno do ângulo mágico (MAS). Os experimentos de RMN de ^{13}C com CP/MAS foram conduzidos utilizando pulsos de excitação de ^1H com 3,6 μs de duração, 1 ms de tempo de contato, 81,92 ms de tempo de aquisição, 5 s de tempo de repetição, 10 kHz de frequência de MAS, 4096 pontos por FID e 100 transientes acumulados. Os espectros foram obtidos por transformada de Fourier dos FIDs, com apodização exponencial com 20 Hz, e referenciados ao tetrametilsilano (TMS), com uso de hexametilbenzeno como referência secundária para ^{13}C .

3. Resultados e Discussão

3.1 Análise Térmico Dinâmico-Mecânica (DMTA)

Foram estudadas as curvas oriundas da componente da tensão resposta em fase com a deformação, E' , denominada módulo de armazenamento e o módulo oriundo da tensão resposta 90° , fora de fase com a deformação, E'' , denominado módulo de perda. Assim, um material viscoelástico foi caracterizado por dois valores de módulo, E' e E'' ^[4]. Na literatura^[13], ainda não há um consenso sobre qual variável usar e de que forma determinar a temperatura de transição vítrea nesta análise. Vários métodos são propostos: a temperatura do início da queda em E' ; do início, ou do pico nas curvas de E'' ou $\tan \delta$. Neste trabalho, foi usada a temperatura do pico da curva de E'' , para a definição da temperatura de transição vítrea, devido ao fato do pico em E'' ter sido mais expressivo.

A Figura 1, apresenta a variação do módulo de armazenamento, E' , com a temperatura para os compósitos

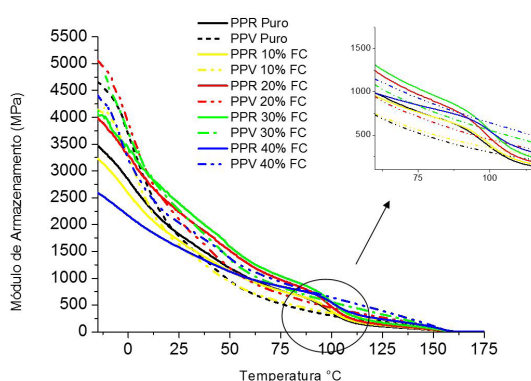


Figura 1. Variação do módulo de armazenamento, E' , com a temperatura sob frequência de 1 Hz dos compósitos produzidos com polipropileno reciclado (PPR) e polipropileno virgem (PPV) em diferentes porcentagens de FC.

estudados sob frequência de 1 Hz. O módulo de armazenamento é uma medida da energia mecânica que o material é capaz de armazenar^[14]. Como observado, ocorreu um decréscimo no valor de E' em todos os compósitos, até cerca de 125 °C, evidenciando o amolecimento da matriz polimérica. Nos polímeros semicristalinos como o polipropileno, o aumento da temperatura aumenta a mobilidade segmental da parte amorfa, sendo que a região cristalina permanece rígida até a temperatura de fusão cristalina^[15,16].

Comparando os espectros do Módulo de Armazenamento (E'), para os dois tipos de compósitos produzidos, nota-se uma redução nos compósitos com 10% de FC, nas duas matrizes, que se deve ao fato da ausência de tratamento na fibra de celulose utilizada, ou seja, segundo Canevarolo^[17], a melhoria das propriedades dinâmico-mecânicas dos compósitos, depende não só da composição, isto é, porcentagens utilizadas e dos componentes individuais produzidos, mas também é afetada pela força e a eficácia da adesão interfacial entre as fibras de celulose e a matriz, que pode ser melhorada com tratamento prévio e também pode ser atribuída às tensões localizadas que são geradas devido a baixas concentração de fibras na matriz polimérica, que causa uma mistura não tão homogênea dispersa, ocasionando um menor módulo. Com o aumento do teor de fibra, as tensões são mais bem distribuídas e o material passa a apresentar maior resistência^[7] e com a adição de fibras de celulose de 20 e 30% em massa, observou-se um aumento da rigidez quando comparado ao PP puro, e isto foi verificado em trabalho similar utilizando o poliestireno^[18]. Desta forma, os parâmetros externos, tais como, reforço com fibras, afetam o comportamento mecânico do compósito, ou seja, considerando-se que a distribuição de esforços ou tensões em uma matriz polimérica é uniforme em todos os seus pontos, a presença de uma segunda fase dispersa nesta matriz também sentirá a sollicitação aplicada no conjunto.

Assim, as propriedades dos compósitos de polipropileno obtidos a partir de diversas porcentagens de fibras de celulose, são apresentadas na Tabela 2.

Já no caso dos compósitos com cargas de 40% FC, a diminuição do módulo de armazenamento se deve ao fato da aglomeração das fibras. Essa aglomeração, de acordo com Lee e Cho^[6], indica a baixa adesão interfacial entre o agente de enchimento e as matrizes, evidenciando que a inserção de uma quantidade igual ou maior que 40%FC, fragiliza

Tabela 2. Propriedades dos compósitos de PPR e PPV contendo diferentes quantidades de fibra de celulose.

AMOSTRA	T _g (°C)	Módulo de Armazenamento (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
PPR Puro	-0,70	2873	190,1 ± 19
PPR /10FC	-1,27	2526	164,8 ± 16
PPR / 20FC	-0,70	3338	197,7 ± 19
PPR / 30FC	-0,46	3446	200,5 ± 20
PPR / 40FC	-2,27	2252	148,3 ± 14
PPV Puro	2,15	3454	313,2 ± 31
PPV /10FC	1,03	3180	277,1 ± 27
PPV / 20FC	1,68	3700	322,7 ± 32
PPV / 30FC	1,03	3621	282,4 ± 28
PPV / 40FC	-1,75	3370	274,0 ± 27

o compósito. Desta forma, o PPV apresentou uma maior rigidez quando comparado ao PPR puro, devido a influência das condições de processamento sofridas por esta matriz, que são desconhecidas e também ao fato do polipropileno reciclado conter uma segunda fase, identificada como sendo o Poliestireno (PS). Esses fatores, contribuíram na diminuição da temperatura de transição vítrea e nos valores do módulo de armazenamento dos mesmos^[17].

Essa segunda fase nas amostras de PP pós-consumo, foi determinada pela técnica de Ressonância Magnética Nuclear (RMN), onde os espectros do PPR e PPV ilustrados na Figura 2, apresentaram dois deslocamentos em 147ppm e 128 ppm, que de acordo com López-Machado et al.^[19], ocorrem devidos aos carbonos aromáticos não protonados e protonados, respectivamente, do polímero Poliestireno (PS), confirmando assim sua presença nos copos de plásticos de PP, provavelmente ocorrida durante a moagem dos copos.

A Figura 3, apresenta o módulo de perda, E'', dos compósitos produzidos com diferentes porcentagens de fibras de celulose. O módulo de perda, E'', é uma contribuição do componente viscoso e é uma medida de energia dissipada nos materiais^[6].

Em relação aos resultados apresentados pelas curvas do módulo de armazenamento, Figura 1, e do módulo de perda, Figura 3, temos que, os compósitos que apresentaram

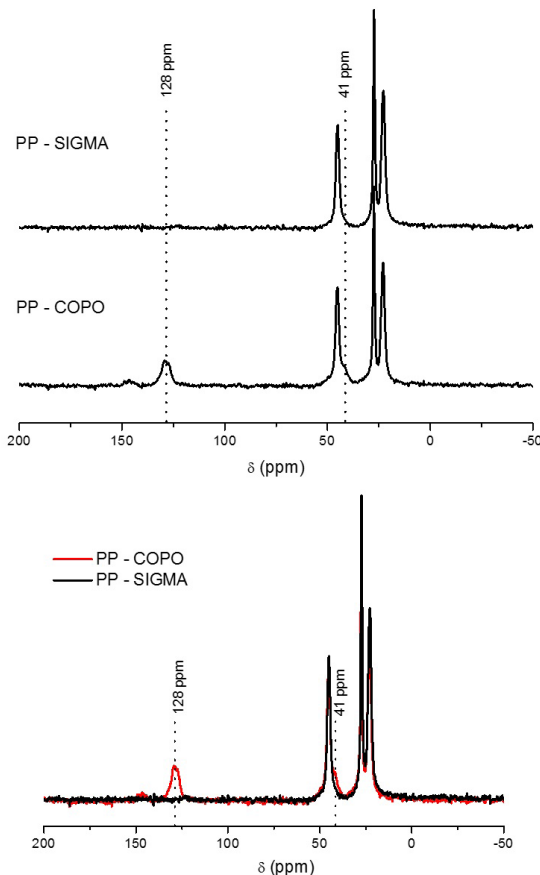


Figura 2. Espectros de Ressonância Magnética Nuclear do PPR (ou PP-COPO) e PPV (ou PP-SIGMA).

E' e E'' superiores, foram os PPR/30FC e PPV/20FC, sendo estes, compósitos mais resistentes que o polipropileno puro. O aumento do módulo de Perda pela adição de fibras é consequência do aumento da rigidez do compósito^[19]. A razão entre os valores de módulo de perda, E'', e módulo de armazenamento, E', define uma grandeza denominada tangente de perda ou amortecimento, descrita na Equação 1.

$$\tan \delta = \frac{E''}{E'} \quad (1)$$

Assim materiais mais rígidos irão apresentar valores de $\tan \delta$ menores e, do mesmo modo, materiais mais flexíveis irão apresentar valores de $\tan \delta$ maiores^[20]. A Figura 4, apresenta o comportamento da tangente de perda para os compósitos que apresentaram melhores resultados de E' e E''. Observou-se uma diminuição da tangente de amortecimento com a inserção de fibras de celulose, nos compósitos de maiores valores de rigidez, como já era esperado. Nota-se que, o pico em aproximadamente 0°C corresponde aos valores de T_g do PP e o pico em aproximadamente 110°C, corresponde a transição vítrea da segunda fase, PS. E através desse gráfico, foi confirmado que não há alteração significativa dos valores de T_g.

3.2 Grau de cristalinidade dos compósitos de PP

O grau de cristalinidade (χ_c), segundo Panaitescu et al.^[21] na Equação 2, é descrito como sendo a razão da entalpia de fusão da amostra (ΔH_f°) pela entalpia de fusão do polipropileno 100% cristalino (ΔH_f°), onde Wpp é a fração em peso da

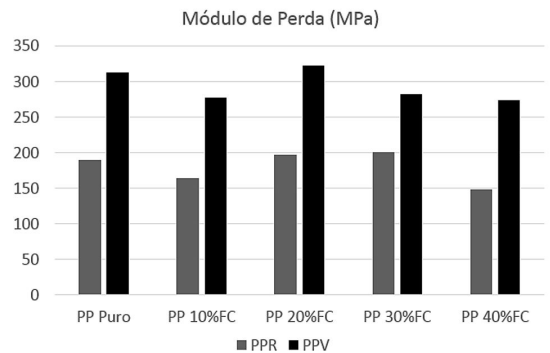


Figura 3. Módulo de perda, E'', dos compósitos produzidos com diferentes porcentagens de fibras de celulose, na temperatura de transição vítrea.

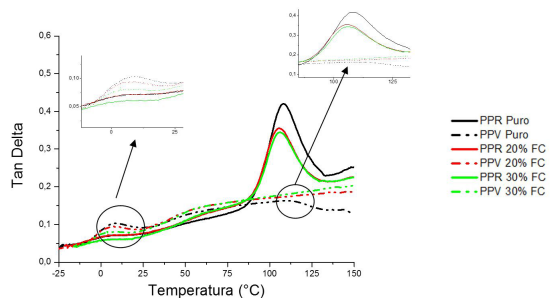


Figura 4. Variação de $\tan \delta$ com a temperatura para os compósitos produzidos com polipropileno reciclado (PPR) e polipropileno virgem (PPV) em diferentes porcentagens de FC.

matriz de polipropileno. O cálculo foi feito, adotando-se o valor de 165 J/g como a entalpia de fusão do PP 100% cristalino (ΔH_f°)^[22].

$$\chi_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^\circ W_{pp}} \times 100 \quad (2)$$

A temperatura de fusão cristalina (T_m) é o valor médio da faixa de temperatura em que, durante o aquecimento, desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos. Neste ponto, a energia do sistema atinge o nível necessário para vencer as forças intermoleculares secundárias entre as cadeias da fase cristalina, destruindo a estrutura regular de empacotamento, mudando do estado de borracha para o estado viscoso^[23].

Na Tabela 3, são apresentados os valores do grau de cristalinidade (χ_c) e da temperatura de fusão cristalina (T_m) dos compósitos produzidos. Observou-se um decréscimo do grau de cristalinidade com a inserção das fibras de celulose para ambos os compósitos, que ocorre devido à falta de tratamento da fibra^[23] utilizada, já que, com o tratamento,

há uma redução da região amorfa e por consequência, o aumento na cristalinidade dos compósitos^[24]. O decréscimo na cristalinidade do PPR puro quando comparado ao PPV também puro, se deve à presença da segunda fase, o poliestireno, e ao tipo de processamento na qual os copos descartáveis foram submetidos^[17].

Já para a análise da temperatura de fusão cristalina (T_m), Tabela 3, não observou-se variação significativa entre compósitos produzidos com a mesma matriz, após a inserção das fibras de celulose. Porém, a pequena diferença da T_m entre as duas matrizes, se deve ao fato da presença da segunda fase na matriz de PPR, que interfere no processo de fusão^[13,17].

3.3 Aspectos da morfologia dos compósitos de PP

As micrografias das superfícies de fratura dos compósitos produzidos, apresentadas na Figura 5, ilustram a interação entre a fibra e a matriz. Sendo (A) e (B), PPR puro e PPV puro, após a inserção de fibras, observa-se uma maior adesão em (C) e (D), referentes respectivamente aos PPR/30FC e

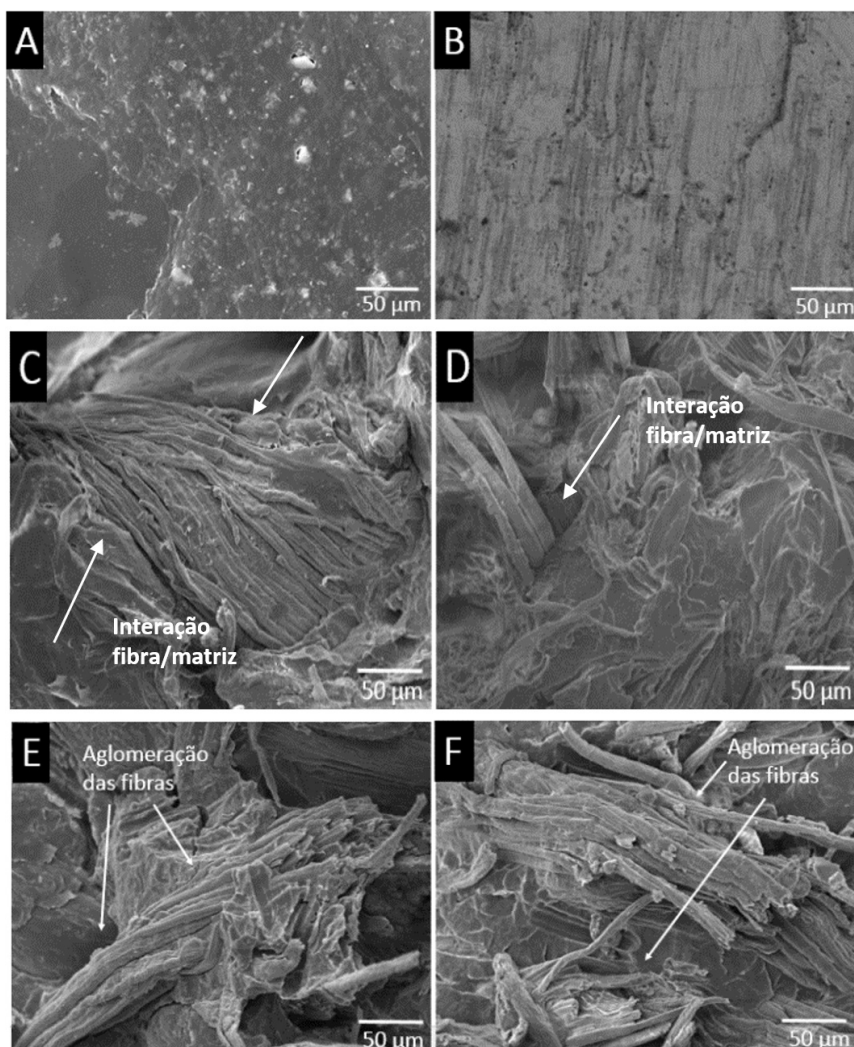


Figura 5. Micrografias da superfície dos compósitos. (A) PPR puro; (B) PPV puro; (C) PPR / 30FC; (D) PPV / 20FC; (E) PPR / 40FC; e (F) PPV / 40FC.

Tabela 3. Propriedades dos compósitos de PPR e PPV contendo diferentes quantidades de fibra de celulose.

AMOSTRA	χ_c (%)	T _m (°C)
PPR Puro	32,03	168,14 ± 0,05
PPR /10FC	25,41	167,57 ± 0,05
PPR / 20FC	29,10	168,08 ± 0,05
PPR / 30FC	30,95	168,77 ± 0,05
PPR / 40FC	21,93	169,88 ± 0,05
PPV Puro	39,68	164,71 ± 0,05
PPV /10FC	33,22	165,93 ± 0,05
PPV / 20FC	35,83	164,63 ± 0,05
PPV / 30FC	37,98	164,97 ± 0,05
PPV / 40FC	31,43	166,00 ± 0,05

PPV/20FC, devido ao fato da disposição das fibras, já que na literatura^[19], determinou-se que uma boa dispersão das fibras dentro da matriz polimérica é uma das condições primárias para obtenção de melhores desempenhos mecânicos dos compósitos. Estes compósitos obtiveram uma maior resistência mecânica, o que foi comprovado nos ensaios anteriores por DMTA. Já nas figuras (E) e (F), respectivamente aos PPR/40FC e PPV/40FC, nota-se uma aglomeração das fibras na matriz e espaços sem fibras, formando com isso, cavidades, o que proporciona uma queda na rigidez do material^[21]. Isto ocorre, provavelmente, devido à natureza hidrofílica da fibra e hidrofóbica da matriz^[5].

4. Conclusões

Os estudos das propriedades térmicas, mecânicas e morfológicas dos compósitos PPV/FC e PPR/FC nos forneceram dados interessantes sobre estes materiais compósitos sendo observado que a partir dos resultados de DMTA, a incorporação das fibras gerou aumento do módulo de armazenamento (rigidez) e uma diminuição dos valores da tangente delta. Estes resultados demonstraram que o efeito de reforço da FC na matriz de PP, é mais evidente nos compósitos de 20 e 30% de FC, proporcionando uma boa resistência mecânica.

As investigações através da técnica de MEV, confirmaram a boa dispersão da fibra na matriz de PP para os compósitos mais resistentes e para os com porcentagens superiores a 40%, a aglomeração de fibras de celulose, acarretando na queda do módulo de armazenamento.

Esse estudo mostrou, através da caracterização das amostras, que os compósitos produzidos com a matriz reciclada e reforçados com fibras de celulose possuem propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas, muito semelhantes aos produzidos com a matriz virgem de polipropileno. Isso nos sugere que o reaproveitamento dos resíduos de celulose e da matriz polimérica oriunda do descarte dos copos descartáveis, através da produção de compósitos de polipropileno, pode ser uma solução para o problema do descarte em nosso meio ambiente.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pela bolsa de estudo concedida a Carolini Spadetti, ao LabPol, LabPetro-DQUI/UFES pelo suporte experimental, a VALE

pela doação dos copinhos descartáveis e a FIBRIA pela doação das fibras de Celulose.

6. Referências

- Sahari, J., & Sapuan, S. M. (2011). Natural fibre reinforced biodegradable polymer composites. *Reviews on Advanced Materials Science*, 30(2), 166-174. Recuperado em 21 de agosto de 2015, de http://www.ipme.ru/e-journals/RAMS/no_23012/05_sahari.pdf
- Callister, W. D., Jr. (2002). *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. 5. ed. São Paulo: LTC.
- Rosa, M. L. S. (2007). *Estudo das propriedades de compósitos de polipropileno com casca de arroz* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rosário, F., Pachekoski, W. M., Silveira, A. P. J., Santos, S. F., Júnior, H. S., & Casarin, S. A. (2011). Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 21(2), 90-97. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282011005000021>.
- Izzati Zulkifli, N., Samat, N., Anuar, H., & Zainuddin, N. (2015). Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene/microcrystalline cellulose composites. *Materials & Design*, 69, 114-123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.053>.
- Lee, H. S., Cho, D., & Han, S. O. (2008). Effect of natural fiber surface treatments on the interfacial and mechanical properties of henequen/polypropylene biocomposites. *Macromolecular Research*, 16(5), 411-417. <http://dx.doi.org/10.1007/BF03218538>.
- Ishizaki, M. H., Visconte, L. L. Y., Furtado, C. R. G., & Leite, M. C. A. M. (2006). Caracterização mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras de coco verde: influência do teor de fibra e das condições de mistura. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 16(3), 182-186. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282006000300006>.
- Núñez, A. J., Sturm, P. C., Kenny, J. M., Aranguren, M. I., Marcovich, N. E., & Reboredo, M. M. (2003). Mechanical characterization of polypropylene-wood flour composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 88(6), 1420-1428. <http://dx.doi.org/10.1002/app.11738>.
- Kim, H.-S., Lee, B.-H., Choi, S.-W., Kim, S., & Kim, H.-J. (2007). The effect of the type of maleic anhydride grafted polypropylene (mapp) on interfacial adhesion properties of polypropylene composites filled with bio- flour. *Composites. Part A, Applied Science and Manufacturing*, 38(6), 1473-1482. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.01.004>.
- Fernandes, B. L. E., & Domingues, A. J. (2007). Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 17(2), 85-87. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282007000200005>.
- Strapasson, R. (2004). *Valorização do polipropileno através de sua mistura e reciclagem* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Bandeira, C. F. (2011). *Avaliação de frequências não convencionais na obtenção de curvas de DMA de compósitos poliméricos* (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Canevarolo, S. V. (2007). *Técnica de caracterização de polímeros*. 2. ed. São Paulo: Artliber.
- Cassu, N. S., & Felisberti, M. I. (2005). Comportamento dinâmico-mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas. *Química Nova*, 28(2), 255-263. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000200017>.
- Joseph, P. V., Mathew, G., Joseph, K., Groeninckx, G., & Thomas, S. (2003). Dynamic mechanical properties of short sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Composites*.

- Part A, Applied Science and Manufacturing*, 34(3), 275-290. [http://dx.doi.org/10.1016/S1359-835X\(02\)00020-9](http://dx.doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00020-9).
16. Amash, A., & Zugenmaier, P. (2000). Morphology and properties of isotropic and oriented samples of cellulose fibre-polypropylene composites. *Polymer*, 41(4), 1589-1596. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(99\)00273-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(99)00273-6).
 17. Canevarolo, S. V. (2006). *Ciência dos Polímeros*. 2. ed. São Paulo: Artliber.
 18. Schlemmer, D., & Sales, M. J. A. (2010). Preparação, caracterização e degradação de blendas ps/tps usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 20(1), 6-13.
 19. López-Machado, M. A., Biagiotti, J., & Kenny, J. M. (2002). Comparative study of the effects of different fibers in the processing and properties of polypropylene matrix composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 15(4), 337-353. <http://dx.doi.org/10.1177/0892705702015004457>.
 20. Taboada I, O. M., Carvalho, R. A., & Sobral, P. J. A. (2008). Análise dinâmico-mecânica: aplicações em filmes comestíveis. *Química Nova*, 31(2), 384-393. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000200035>.
 21. Panaitescu, D. M., Vuluga, Z., Ghiurea, M., Iorga, M., Nicolae, C., & Gabor, R. (2015). Influence of compatibilizing system on morphology, thermal and mechanical properties of high flow polypropylene reinforced with short hemp fibers. *Composites. Part B, Engineering*, 69, 286-295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.010>.
 22. Brandup, J., Immergut, E. H., & Grulke, E. A. (1998). *Polymer Handbook*. 4. ed. Oxford: CRC Press.
 23. Pracella, M., Chionna, D., Anguillesi, I., Kulinski, Z., & Piorkowska, E. (2006). Functionalization, compatibilization and properties of polypropylene composites with Hemp fibers. *Composites Science and Technology*, 66(13), 2218-2230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.12.006>.
 24. Kabir, M. M., Wang, H., Lau, K. T., & Cardona, F. (2013). Effects of chemical treatments on hemp fibre structure. *Applied Surface Science*, 276, 13-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.02.086>.

Enviado: Ago. 21, 2015

Revisado: Fev. 14, 2016

Aceito: Abr. 04, 2016