

Estudo da substituição do nylon por compósito de polipropileno com fibra de vidro

Study of replacement of nylon by polypropylene composite and glass fiber

Gilmar Cordeiro da Silva¹, Geraldo Flávio Ximenes Ladeira¹,
Hermano Nascimento Júnior¹, José Rubens Gonçalves Carneiro¹

¹ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Av. Dom José Gaspar, 500 - PUCMINAS – CP: 30535910, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
e-mail: gilmarcord@gmail.com, liderplast@liderplast.com.br, hermano.junior@hotmail.com, joserub@pucminas.br

RESUMO

Peças fabricadas com polímeros de alto desempenho têm sido substituídas por materiais similares, sendo produzidas com uma composição de polipropileno (PP), que tem um custo mais baixo. Uma das composições mais comumente utilizadas é a junção do polipropileno com fibras, resultando na formação de um novo material, com características diferentes às dos seus constituintes. Este tipo de junção é denominado compósito. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do compósito de polipropileno com fibra de vidro para a substituição do material da carcaça de um elemento filtrante fabricado atualmente com um compósito de nylon e fibra de vidro na proporção de 30% em peso. Foram injetados corpos de prova usando PP puro e com cargas de fibra de vidro nas proporções de 15%, 20% e 30%, a análise de comportamento, através de ensaio de tração, flexão, resistência ao impacto, dureza, índice de fluidez e determinação do índice de contração indicou o compósito PP com 30% de fibra de vidro com melhor comportamento. Posteriormente realizou-se a injeção da carcaça do elemento filtrante no compósito PP com 30% de fibra de vidro que passou por testes práticos.

Palavras-chave: Polipropileno, nylon, fibra de vidro, elemento filtrante.

ABSTRACT

Parts made from high performance polymers have been replaced by similar materials, produced with a polypropylene (PP) composition, with a lower cost. One of the most commonly used compositions is made by the the joining of polypropylene with fibers, resulting in a new product with different characteristics from those of its constituents. This type of joint is called composite. The objective of this study is to evaluate the behavior of the fiberglass polypropylene composite for the replacement of the housing material of a filter element which is currently manufactured with a nylon and glass fiber composite in the proportion of 30% by weight. Test specimens was injected by using PP pure and as well as with 15%, 20% and 30% fiberglass loads, for behavior analysis through tensile test, flexural strength, impact strength, hardness, flow index and determination of contraction rate. After the injection in the composite with best behavior, PP 30% fiberglass, the filter element housing was subjected practical tests.

Keywords: Polypropylene, fiberglass, plastic injection. filter element.

1. INTRODUÇÃO

Fatores como custo e facilidade na obtenção da matéria prima para a fabricação de produtos por processo de injeção plástica, são fundamentais na composição do preço final do produto.

Peças fabricadas com polímeros de alto desempenho têm sido substituídas por materiais similares. Uma das composições mais comumente utilizadas é a junção do polipropileno com fibras, resultando na formação de um novo material, com características diferentes às dos seus constituintes. Este tipo de junção é

denominado compósito. O polipropileno (PP) é uma commodity nacional, encontrada facilmente no mercado, vendida em lotes com menores quantidades e com precificação mais baixa e estável. Menores ciclos de produção e dispêndio de insumos devidos à baixa pressão de injeção e temperatura de plastificação em relação ao Nylon são pontos de relevância observados no PP.

Os polímeros distinguem-se entre si pelo grau da diferenciação, escala de produção, nível de consumo e assim no valor agregado. Podem então ser classificados, em três grandes grupos em polímeros para usos gerais (commodities), polímeros para usos específicos (quase-commodities) e polímeros de alto desempenho (especialidades) [1]. Os polímeros tipo commodities são aqueles produzidos em alta escala, tem baixo valor agregado, não apresentam diferenciação, são utilizados para finalidades gerais e são consumidos em grandes quantidades como exemplo o polietileno, polipropileno, poli (cloreto de vinila – PVC) e o poliestireno. Como polímeros quase-commodities pode se citar as poliamidas, ABS, SAN, poliuretano, policarbonato e o PET, que tem características específicas de plástico de engenharia e mercado bem direcionado, porém produzido em maior escala. Já entre os polímeros de alto desempenho, podem ser citados o poli (óxido de metileno) (POM – Poliacetal), poli(tetrafluoretileno) (PTFE), poli (tereftalato de butileno) (PBT), poli(sulfeto de fenileno) (PPS) e polímeros líquido-cristalinos. São produtos específicos, com propriedades bem definidas e incomuns, tem alto valor agregado e são produzidos em escala menores. [1].

Hoje em dia, a simples observação do trânsito nas grandes metrópoles leva à constatação de que o número de veículos aumenta constantemente. Além disso, uma significativa quantidade de partes automotivas, que anteriormente eram fabricadas com materiais metálicos, é atualmente fabricada com materiais poliméricos. Na década de 70, utilizava-se cerca de 30 kg, na década de 90 este valor chegou a 180 kg e estima-se que chegue a 200 kg em veículos atuais [2] os quais cerca da metade corresponde a compostos de polipropileno (PP).

Estudos sobre a viabilidade do uso da fibra curta de sílica como agente de reforço em compósito de polipropileno homopolímero aplicada em peças internas automotivas [3] e otimização das propriedades mecânicas do polipropileno injetado e reforçado com fibras longas [4] relatam que a composição de PP e fibra de vidro podem ser amplamente utilizadas no campo industrial, especialmente em aplicações automotivas em função de suas excelentes propriedades mecânicas e baixo custo. Em porcentagem, a participação de materiais poliméricos nos veículos evoluiu de 10% a 13% do peso total do veículo em 1990 para 20% na década de 2000 [5].

O mercado atual é extremamente competitivo e qualquer redução de preço é da maior importância. No entanto, existe a necessidade de informações sobre as propriedades do material a ser utilizado na substituição do já existente de tal forma que não comprometa a qualidade final do produto.

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do compósito de polipropileno com fibra de vidro para a substituição do material da carcaça de um elemento filtrante fabricado atualmente com um compósito de nylon e fibra de vidro na proporção de 30% em peso. De forma geral, os dados obtidos neste estudo poderão ser utilizados em outras situações similares de produção servindo como base para o desenvolvimento de novas pesquisas e desenvolvimento de outros produtos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Matéria prima e molde de injeção

A matéria prima é o polipropileno puro, o polipropileno com os percentuais 15%, 20% e 30% de fibra de vidro e o Nylon com 30% de fibra de vidro. Os materiais foram adquiridos da empresa Petropol polímeros em embalagem separadas de 25 Kg cada. O molde utilizado na injeção dos corpos de prova é composto de quatro posições intercambiáveis, sendo cada posição composto de duas cavidades e pertencente a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

2.2 Injeção dos corpos de prova

As injeções dos corpos de prova em PP puro, 15%, 20% e 30% com fibra de vidro foram realizadas em uma injetora da marca Sinitron com capacidade de plastificação 201 cm³, força máxima de fechamento de 90 toneladas e sistema de extração automática.

Antes do início das injeções dos corpos de prova, todo material polimérico utilizado anteriormente dentro do funil e na rosca da injetora foi retirado para não ocorrer qualquer tipo de contaminação. Para isso, o bico de injeção da máquina injetora foi recuado e todo o material indevido foi expelido. Nas injeções dos corpos de prova para cada material foi observado o tempo de aquecimento em estufa (80°C por duas horas)

antes da realização das injeções de acordo com as especificações do fornecedor da matéria prima.

Após a expurga, o primeiro material injetado foi o (PP 100% virgem), para isso o material foi inserido no funil da injetora que, ainda com o bico injetor recuado, continuou a expurgar o material. Essa etapa foi realizada para que, caso ainda houvesse algum resíduo do material indevido na rosca da injetora, o mesmo fosse retirado totalizando a limpeza em tal região. Em seguida o bico injetor avançou e acoplou no bico de injeção da parte superior do molde, posteriormente ocorreu o fechamento do molde e início da produção dos corpos de prova.

As dez primeiras peças injetadas foram descartadas como uma terceira medida de segurança com o intuito de se eliminar qualquer possibilidade de contaminação do material e também para garantir a estabilidade da injetora no momento da injeção dos corpos de prova. Esse procedimento foi repetido a cada troca de composição da matéria prima. Todos os corpos de prova foram injetados em um único molde contendo duas cavidades de cada modelo em cada posição, cada um conforme sua norma específica.

2.3 Caracterização mecânica, química e termogravimétrica

Os ensaios de tração foram realizados em laboratório com temperatura ambiente controlada conforme norma ASTM-D638 [6] e executados em uma máquina universal de marca Instron, modelo 5867R, com distância entre garras de 115mm, velocidade de ensaio de 50mm/min e célula de carga de 30kN. A incerteza do equipamento é de 1,5% e as propriedades mecânicas analisadas nesse ensaio foram as de limite de resistência à tração (LRT) e alongamento na ruptura.

Os ensaios de flexão foram realizados conforme norma ASTM-D790 [7] e executados na mesma máquina dos ensaios de tração, com distância entre os apoios de 50mm, velocidade de ensaio de 2mm/min e célula de carga de 30kN. As propriedades mecânicas analisadas nesse ensaio foram a de limite de resistência à flexão (LRF) e módulo de elasticidade na flexão (MEF). A amostra foi apoiada como uma viga flexionada a um taxa constante. Durante o procedimento, a força aplicada à amostra foi mensurada.

Os ensaios de impacto (IZOD) foram realizados conforme norma ASTM-D256 [8] e executados em um equipamento universal da marca Ceast com a utilização de um martelo de 2,75J. A incerteza do equipamento é de 1,5% e a propriedade mecânica analisada nesse ensaio foi a resistência ao impacto do material.

Para a caracterização química do material injetado as amostras dos corpos de prova foram analisadas utilizando as técnicas de espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e calorimetria exploratória Diferencial (DSC). Os equipamentos utilizados foram o FTIR Thermo Nicolet Nexus 470 e o SC2920 Modulated DSC – TA Instruments. O procedimento consistiu de Rampa em atmosfera inerte com equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 300°C com razão de aquecimento de 20°C/min, resfriamento de 300°C a 50°C com razão de resfriamento de 20°C/min.

O teste de Termogravimetria foi feito no equipamento Analisador termogravimétrico Hi-Res TGA 2950 Thermogravimetric Analyser – TA Instruments. Utilizou-se atmosfera inerte e equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 750°C com razão de aquecimento de 20°C/min; posteriormente houve a troca para atmosfera oxidante, Isoterma de 5 min, logo após outro aquecimento de 750°C a 850°C com razão de aquecimento de 20°C; Isoterma de 1 min.

2.4 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para realização da microscopia da fratura, as regiões fraturadas dos corpos de prova dos ensaios de tração foram metalizadas com ouro. Uma amostra de cada composição de matéria prima foi verificada e em cada face, três análises foram feitas: uma na borda, e duas no núcleo com diferentes ampliações.

Para a análise da fratura dos corpos de prova dos ensaios de impacto foram analisados um corpo de prova fraturado para cada material em estudo, ou seja, o polipropileno puro, o polipropileno com os percentuais 15%, 20% e 30% de fibra de vidro e o Nylon com 30% de fibra de vidro. O equipamento que foi utilizado é da marca Geol, modelo IT300.

2.5 Injeção e teste prático carcaça do elemento filtrante

Para a injeção da carcaça do elemento filtrante no compósito em polipropileno com fibra de vidro foi utilizada uma injetora da marca Sinitron, série SYA-DT com força de fechamento de 180 toneladas e capacidade de injeção de 433 gramas em poliestireno PS. Após a injeção foram realizados testes de montagem da carcaça nos elementos filtrantes e nos disco de apoio e posteriormente testes de filtragem em bancada com equipamentos composto de fluxo de óleo com atuadores de pressão calibrados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados ensaio de tração, flexão, impacto, caracterização química e termogravimetria

As propriedades mecânicas analisadas nesse ensaio foram o limite de resistência à tração (LRT) e o alongamento na ruptura. Também foi realizado ensaio de tração em corpo de prova em nylon com 30% de fibra de vidro (poliamida), sendo esse material utilizado atualmente na confecção da carcaça do filtro.

A Figura 1 apresenta as curvas tensão versus deformação média das amostras de PP puro, com os percentuais de fibra de vidro e Nylon com 30% de FV. Os valores que foram adotados para a elaboração das curvas são uma média dos valores encontrados para seis corpos de prova de cada proporção de carga de fibra de vidro.

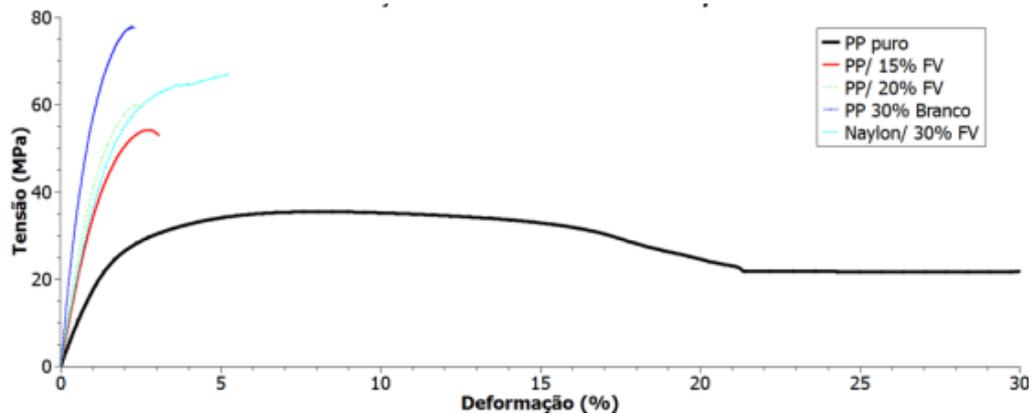


Figura 1: Curvas Tensão x deformação média PP e Nylon a 23 °C- ASTM

O ensaio de tração para o PP com 0%FV, PP15%FV, PP20%FV e PP30%FV, produziu curvas de tensão x deformação distintas entre si. O PP sem carga apresentou um comportamento dúctil característico de termoplásticos, elevada deformação na ruptura com resistência à tração e módulos baixos. Nos compósitos, porém, o comportamento é frágil, com deformação linear em baixas tensões e deformação não linear em tensões maiores. Quando adicionadas as fibras ocorreu uma redução significativa no estiramento e elevado aumento no módulo. Com o aumento do teor de carga, estas características foram ainda mais acentuadas, especialmente com relação à tensão e ao módulo. Quando acrescentadas as proporções de fibra de vidro ocorreu um aumento da tensão de escoamento de 35,45 MPa no corpo de prova com PP puro para 54,15 MPa no PP com 15% de fibra de vidro. Já para os compósitos com 20% e 30% de fibra de vidro os valores das tensões de escoamento foram de 60MPa e 78MPa respectivamente, ou seja, consideráveis aumentos no valor da tensão de escoamento de 53%, 69% e 120% para os corpos de prova com 15%, 20% e 30% de fibra de vidro. Os valores encontrados assemelham se aos valores obtidos por [9].

A Figura 2 apresenta a fotografia dos corpos de prova do PP puro, 20% FV e 30% FV após a ruptura respectivamente.



Figura 2: Corpos de prova rompidos (a) PP puro, (b) PP 20% FV e (c) PP 30% FV

Os ensaios de flexão foram realizados conforme a norma ASTM-D790 a temperatura ambiente (23°C)

com a umidade relativa do ar de 60%. Observou-se que o esforço de flexão máximo necessário aumentou de acordo com o acréscimo da carga de fibra de vidro. Ocorreu variação de 46,2Mpa no material puro até 94,7Mpa no compósito com 30% de fibra de vidro. Houve aumento de 105% no esforço de flexão máximo. O módulo de Young em Mpa, também aumentou de 1,38 Gpa no material puro para 4,8 Gpa no compósito com 30% de fibra de vidro. Houve aumento de 250% no valor do módulo de Young. A fibra de vidro promoveu o aumento da rigidez do material, ou seja, a sua resistência à deformação elástica.

Os ensaios de impacto IZOD foram realizados conforme norma ASTM-D256. A influência da concentração da fibra de vidro na resistência ao impacto Izod foi determinada após o ensaio em cinco corpos de prova para cada amostra. O valor médio encontrado para o PP 15%FV foi de 19,23(J/m), para o PP20%FV, 47,74(J/m) e para o PP30%FV 58,77(J/m).

A variação encontrada da resistência ao impacto com o aumento do percentual de fibras está em concordância com os relatos da literatura. [12] [13] [14]. Quanto maior o percentual de fibra, maior a resistência ao impacto das amostras testadas. Os resultados deste trabalho apontaram um aumento que variou de 148,3% a 205,6% para o valor de resistência ao impacto (J/m) quando comparado ao compósito com 15% de fibra de vidro, o que está de acordo com Chiu et al [15], que mencionou um aumento significativo de resistência ao impacto com o aumento do teor de fibras em sistemas PP/FV. A presença da fibra no compósito tende a desviar a propagação da trinca no material, fazendo que ocorra um mecanismo de proteção da matriz polimérica. [10] [4].

A caracterização química dos corpos de prova injetados foi feita utilizando as técnicas de Espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Calorimetria exploratória Diferencial (DSC) com Rampa em atmosfera inerte com equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 300°C com razão de aquecimento de 20°C/min, resfriamento de 300°C a 50°C com razão de resfriamento de 20°C/min. Os materiais foram caracterizados conforme resultados mostrados na Tabela 1. Percebe-se que houve uma diminuição nos valores de energia de entalpia de cristalização e fusão quando adicionados os percentuais de fibra de vidro. As temperaturas de cristalização e fusão praticamente não variaram quando adicionados percentual de fibra de vidro.

Tabela 1: Caracterização dos corpos de prova Injetados

CARACTERIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA INJETADOS					
AMOSTRA	MATERIAL	TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO	ENTALPIA DE CRISTALIZAÇÃO	ENTALPIA DE FUSÃO	TEMPERATURA DE FUSÃO
1	PP- Puro	111,31°C	102,3 J/g	93,16J/g	164°C
2	PP- 15% FV	115,22°C	84,15 J/g	76,11 J/g	162°C
3	PP- 20% FV	114,82°C	79,42 J/g	71,10 J/g	164°C
4	PP- 30% FV	115,14°C	66,36 J/g	60,92 J/g	164°C

Para o teste de Termogravimetria (TG) utilizou-se atmosfera inerte e equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 750°C com razão de aquecimento de 20°C/min; posteriormente houve a troca para atmosfera oxidante, Isoterma de 5 min, logo após outro aquecimento de 750°C a 850°C com razão de aquecimento de 20°C; Isoterma de 1 min. A Tabela 2 mostra os resultados encontrados no teste de termogravimetria (TG) para cada amostra. Observa-se que para cada material ensaiado houve correspondência no percentual de polímero e carga inorgânica.

Tabela 2: Resultados da Termogravimetria

RESULTADOS TERMOGRAVIMETRIA				
AMOSTRA	MATERIAL	POLÍMERO	CARGA OXIDÁVEL	CARGA INORGÂNICA
1	PP- Puro	99%	1%	0%
2	PP- 15% FV	85%	0%	15%
3	PP- 20% FV	82%	0%	18%
4	PP- 30% FV	72%	0%	28%

3.2 Resultados Microscopia eletrônica de varredura na região de fratura dos corpos de prova do ensaio de tração

Para realização da microscopia da fratura, as regiões fraturadas dos corpos de prova dos ensaios de tração foram metalizadas em uma máquina de metalização com ouro. A Figura 3 apresenta as micrografias com 250x de ampliação na região de fratura dos corpos de prova injetados em PP puro e nos compósitos com 15% e 30% de fibra de vidro.

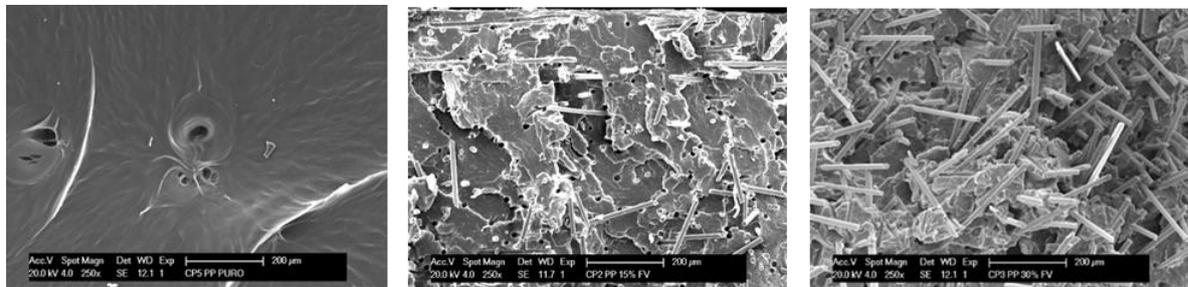


Figura 3: Micrografia da superfície da fratura do CP com aumento de 250 vezes (a) PP puro, (b) PP 15% e (c) PP 30%.

Na Figura 3(b) e 3(c) podem ser observados vazios provenientes das fibras arrancadas (pull out) e fibras quebradas observadas também em parte do trabalho de [9]. Visualmente percebe-se também uma maior concentração de fibras com o aumento do seu percentual. Com o aumento da concentração de fibra de vidro percebe-se uma redução no percentual de vazios. Vale lembrar outros fatores não explorados neste trabalho que podem alterar este comportamento, ou seja, com o aumento da temperatura de injeção, podem ser observadas tendências similares as que ocorreram com o aumento de concentração de fibras de vidro devido ao fato de ter menos pontas finais de fibras, onde é uma região de concentração de tensão [10]. A temperatura do molde também é um outro fator que pode influenciar o comportamento das fraturas destes compósitos. Uma diminuição na temperatura do molde induz um aumento da tensão de cisalhamento durante o preenchimento do molde e existe uma grande tendência das fibras se orientarem paralelamente para o fluxo de injeção [11]. As injeções dos corpos de prova nesse trabalho foram realizadas sem o aquecimento do molde de injeção.

3.3 Resultados da injeção e teste prático na carcaça do elemento filtrante.

A Tabela 3 mostra valores comparativos do processamento do Nylon/30%FV e do PP/30%FV para a fabricação da carcaça do elemento filtrante. Os dados apresentados para a injeção do Nylon com 30% de fibra, já são os usualmente utilizados na fabricação. Já os dados para a injeção do PP, foram inicialmente adotados, aqueles indicados pelo fabricante da matéria prima e foram ajustados durante a injeção das peças. Foram injetadas 30 peças de nylon e 30 peças de PP.

Percebe se que a carcaça do elemento filtrante injetada em PP com 30% FV apresentou em relação ao Nylon com 30%FV uma diminuição no consumo de matéria prima da ordem de 15,78% em peso médio, economia no preço da matéria prima na ordem de 37%, redução da pressão de injeção e ciclo total de injeção de 16,6% e 36,6% respectivamente e menores temperaturas nas zonas de aquecimento.

Tabela 3: Valores comparativos do processamento do nylon/30%FV e do PP/30%FV

	NYLON/30% FV	PP/30% FV
Peso médio da peça	190 g	160 g
Preço de matéria prima	R\$ 13,5/kg	R\$ 8,40/kg
Pressão de injeção	90 Bar	75 Bar
Ciclo total de injeção	60 s	38 s
Recomendado pelo fabricante 230 C a 190 C temperaturas nas zonas de aquecimento do canhão	1 ^a 325° C 2 ^a 320° C 3 ^a 290° C 4 ^a 280° C 5 ^a 270° C	210° C 200° C 190° C 180° C 170° C

O teste prático inicial consistiu da montagem dos discos de apoio e do elemento filtrante na carcaça. Os resultados foram satisfatórios. A Figura 4 (a) mostra a carcaça com os discos de apoio e o elemento filtrante e Figura 4 (b) - Mostra o elemento filtrante sendo montado na carcaça injetada em PP com 30% de FV.



Figura 4: (a) - carcaça com discos de apoio e o elemento filtrante, (b) elemento filtrante sendo montado na carcaça.

Posteriormente ao teste de montagem foram realizados testes de filtragem com aplicação de pressão em bancada durante duas horas e meia. A pressão inicial foi de 5,0 bar e atingiu uma temperatura máxima de 36°C. Esses valores são similares aos usados quando se utiliza a carcaça confeccionada em Nylon com 30% de fibra de vidro.

4. CONCLUSÃO

O aumento da concentração de fibra de vidro promoveu proporcionalmente uma diminuição na contração da amostra do compósito em função da resistência que a fibra de vidro proporcionou pela sua menor plasticidade.

A resistência à tração aumenta com o aumento da quantidade de carga de fibra. Já o alongamento na tração, diminuiu. Através das imagens de microscopia observou-se que a adesão entre a fibra de vidro e a matriz polimérica não ocorreu completamente, mesmo com a utilização de um agente de adesão recomendado pelo fornecedor da matéria prima. Quando se observa as imagens de MEV são visíveis alguns pontos de “pull-out” e a falta de indícios de matriz aderida nas fibras arrancadas.

O esforço de flexão máximo e o módulo de elasticidade (Young) aumentaram com o aumento da quantidade de carga de fibra de vidro no compósito. A inclusão das fibras de vidro foi responsável também por um aumento significativo da resistência ao impacto (19,23J/m - 15%FV => 58,77J/m - 30%FV) que aumenta com o aumento do teor de fibra de vidro. Na análise termogravimétrica, a concentração de fibras foi confirmada em concordância com os valores apresentados pelo fornecedor da matéria prima.

A injeção da carcaça do elemento filtrante utilizando polipropileno com 30%/FV, apresentou resultados positivos tanto na montagem dos discos de apoio e elemento filtrante quanto nos testes de bancada efetuados. Considerando os valores comparativos do processamento do nylon/30%FV e do PP/30%FV (Tabela 3), visualiza-se uma redução de custos geral entre 18% a 22% com a substituição do nylon pelo polipropileno na fabricação da carcaça. Apresenta-se ainda a vantagem da utilização de polipropileno de fabricação nacional em comparação com nylon (poliamida), que é importada.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à PUC-MG - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e a FCA – Fiat Chrysler Automóveis pelo suporte dado neste estudo.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] HEMAIS, C. A.. “Polímeros e a indústria automobilística”, *Polímeros*, v. 13, n. 2, 107-114pp. June 2003.
- [2] MOL, A.S. *Preparação e funcionalização de nano fibras (Whiskers) de quitina e sua aplicação como agente de recuperação de propriedades em polipropileno e poli (acrilonitrila-butadieno-estireno) reciclados*,

- Tese de D.Sc, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2014.
- [3] PIZZITOLA, I. C. P., MACHADO, M. M., WIEBECK, H. “Propriedades mecânicas e comportamento a emissões de voláteis de compósitos de polipropileno/fibras curtas de sílica”, *Polímeros* [online]. v.21, n.3, pp.223-228, 2011.
- [4] YOUSSEF, A. H., MADHURANTHAKAM, C., MOULI, R., *et al.*, “Optimizing mechanical properties of injection-molded long fiber-reinforced polypropylene”, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. v. 28, n. 6, 849-862, pp. April 2015.
- [5] XIAODONG, L., BOLDIZAR, A., RIGDAHL, M., *et al.*, “Recycling of blends of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and polyamide”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 86, n. 10, pp. 2535-2543, Sep. 2002.
- [6] ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [7] ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [8] ASTM D256-10e1, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- [9] LOPES, P. E., SOUSA, J. A. “Influência das condições de processamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibras de vidro”, *Polímeros* [online]. 1999, v.9, n.1, pp.85-96. ISSN 0104-1428.
- [10] OTA, W.N. *Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional*. Dissertação de M.Sc., Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, PR, Brasil, 2004.
- [11] FU, S.-Y., *et al.*, “Hybrid effects on tensile properties of hybrid short-glass-fiber-and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites”, *Journal of Materials Science*, v. 36, n. 5, 1243-1251pp. March 2001.
- [12] FEJES-KOZMA Z., KARGER-KOCSIS J. “Fracture mechanical characterization of a glass-fiber material reinforced polypropylene by instrumented impact bending”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 13, n. 9, 822-834pp. Sep. 1994.
- [13] GUPTA, A.K. SRINIVASAN, K.R., KUMAR, P.K. “Glass-Fiber reinforced Polypropylene EPDM blends. II. Mechanical properties and morphology”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 43, n. 3, 451-462pp. Aug.1991.
- [14] THOMASON J.L. VLUG, M.A. “Influence of a fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene .IV. Impact properties, composites, Part A”, *Applied Science and Manufacturing*, v. 28, n. 3, 277–288pp. 1997.
- [15] CHIU, W.Y. LU, H.C, CHANG, C.L. “Relationship between extrusion condition and mechanical properties of FRPP”, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 43, n. 7, 1335-1341pp. Oct. 1991.

ORCID

Gilmar Cordeiro da Silva	https://orcid.org/0000-0002-5405-8086
Geraldo Flávio Ximenes Ladeira	https://orcid.org/0000-0002-6444-7392
José Rubens Gonçalves Carneiro	https://orcid.org/0000-0001-7937-6083
Hermano Nascimento Júnior	https://orcid.org/0000-0001-5191-6586