

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COMPÓSITO POLIPROPILENO COM FIBRA DE VIDRO

JOSÉ DA SILVA FRANCO FILHO¹, EMMANUELLE DE OLIVEIRA SANCHO^{2*},
LUIZ FLÁVIO LUCIANO DE MELO³, EDUARDO ALBUQUERQUE ARAÚJO⁴, RAYSSA CORTEZ
BRAGA MAIA⁵

¹ Engenheiro Mecânico, UNIFOR, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3477-3183, engmecfranco@hotmail.com

² Dr. Professora Engenharia Mecânica, UNIFOR, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3477-3183, esancho@unifor.br

³ Me. Química, SENAI, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3293-5024, flavio19842@yahoo.com.br

⁴ Estudante de Engenharia Química, UFC, Fortaleza-CE. Fone: 3366-9596, eduardo-albuquerque93@hotmail.com

⁵ Estudante de Engenharia Mecânica, UNIFOR, Fortaleza-CE. Fone: (85) 3477-3183, rayssacortez@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Este trabalho foi idealizado a partir do projeto lançador de cabos da Coelce, que gerou a necessidade de confeccionar um compósito com matriz de termoplásticos a ser utilizado na substituição da peça fixadora de cabos no topo de isoladores de alta tensão. Para isso, foram estudados alguns possíveis termoplásticos para a matriz, os reforços mais adequados e aditivos que previnam desgastes decorrentes das condições ambientais sofridas pela peça. A confecção de corpos de prova do compósito analisado foi efetuada para submetê-los a ensaios de tração e impacto, que comprove se tal material é adequado ou não a substituição do atual sistema de fixação de cabos.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito, Polímeros, Injeção, Ensaios de tração, Ensaio de impacto.

STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE POLYPROPYLENE WITH FIBERGLASS

ABSTRACT: This work was conceived from the Coelce cables launcher project, which generated the need to fabricate a composite with thermoplastic matrix to be used in replacement of the fixing piece of cables on top of high voltage insulators. For this, we studied some possible thermoplastic for the matrix, the most suitable reinforcements and additives that prevent wear arising from environmental conditions suffered by piece. The making of analyzed composite specimens was performed to subject them to tensile and impact testing, proving whether such material is suitable or not to replace the current cable clamp system.

KEYWORDS: Composite, Polymers, Injection, Tensile test, Impact test.

INTRODUÇÃO

O método atual de lançamento e fixação de condutor em linhas de distribuição de média tensão (LDMT) requer que o empregado trabalhe no topo dos postes, utilizando escada ou esporas. Esta forma de trabalho contribui para acidentes pelas condições ergométricas em que o profissional trabalha, exige elevado tempo de execução da atividade e aumenta os custos das empresas pela perda de horas de trabalho por acidente e baixa produtividade. A partir da necessidade da confecção de uma peça que será a fixadora de cabos no topo de isoladores de alta tensão em rede elétrica, é necessário o estudo de materiais devido às condições que a peça será submetida. Portanto, tal material necessitará apresentar resistência à tração moderada e módulo de flexão moderado. Sendo assim, foram estudados vários polímeros que foram previamente escolhidos através da revisão da literatura, no qual o polipropileno se mostrou o material mais promissor em conjunto com a fibra de vidro como reforço, atendendo as exigências das normas para o projeto.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram mensuradas, em termos de volume, as quantidades definidas de polipropileno e fibra de vidro. A quantidade especificada de fibra de vidro e polipropileno foram medidas em vidrarias usuais de laboratório. Em seguida, foram encaminhadas a extrusora para homogeneização.

A extrusora utilizada foi do tipo dupla rosca da marca Philpolymer da UNIFOR, caracterizada por ser uma extrusora horizontal, com painel de controle de temperatura e velocidade da rosca sem fim. A máquina também possui funil de alimentação, que joga o material em pellets ou granulado dentro do dosador. Na Figura 1, temos a extrusora e os equipamentos citados. A matriz instalada no final da máquina cria no material um perfil de tubo. Ao lado da extrusora existe um tanque de água para resfriamento do material que sai da matriz e em seguida um jato direcionador de ar ajuda a resfriar ainda mais até o enrijecimento do material. Por fim, o material é guiado para a entrada do granulador que irá triturar o tubo e puxar o resto do material, guiando o processo. Já a temperatura das zonas de aquecimento foi ajustada com a temperatura de fundição do polipropileno. É recomendável que o tamanho dos grânulos da moagem seja o mais semelhante possível ao do material virgem. Grânulos muito grandes podem gerar pontos duros, já que a sua plastificação requer maior tempo de residência e maior temperatura. No processo mantemos a velocidade constante.

Figura 1. Extrusora Philpolymer. 1- Painel de controle, 2- Motor de rotação, 3- Funil de alimentação e dosador 4- Zonas de aquecimento.



Fonte: Autor, 2015.

A injetora utilizada foi uma Furnax EM150-V, disponibilizada pelo SENAI de Maracanaú. Tal injetora possui oito zonas de aquecimento com controle PID de elevada de precisão ($\pm 1^\circ\text{C}$); painel de controle ai-12 que atende as normas de injeção JIS; motor hidráulico da rosca de alto torque e precisão, que garante qualidade da homogeneização do material; proteção contra partida de material a frio, temperatura de conservação com ajuste automático e detecção de entupimento de bico e função de auto purga; proteção contra partida de material a frio; temperatura de conservação com ajuste automático e detecção de entupimento de bico (Figura 2). O molde da injetora confecciona corpos de prova de impacto e resistência à tração ao mesmo tempo, segundo a norma ASTM D-638 tipo I. As dimensões finais do corpo de prova para ensaios de tração e de impacto estão apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

Figura 2. Injetora Furnax



Fonte: Autor, 2015.

Figura 3. Dimensões dos corpos de prova injetados para ensaio de tração. Tolerância conforme a norma.

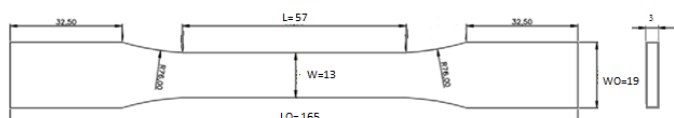


Figura 4. Medidas do corpo de prova de impacto, com tolerância de ± 0.5 mm. Espessura de 3 mm.



Fonte: Autor, 2015.

A máquina de ensaios mecânicos do modelo Emic DL2000, disponibilizada pelo SENAI de Maracanaú, está regularmente calibrada e os resultados obtidos são transmitidos para computador e o software gera relatórios em sua conclusão. Além disso, presas que fixam corpos de prova com espessuras relativamente finas foram acopladas para a realização do ensaio. A Figura 5 mostra a

máquina pronta para o ensaio. O corpo de prova foi fixado nas garras em uma região predeterminada. Além disso, um equipamento chamado extensômetro, que é o responsável por medir as deformações do material, é apoiado no corpo de prova. Só após a verificação se estes estão bem posicionados e fixados, inicia-se o ensaio. As amostras são submetidas a forças controladas até o material sofrer deformação plástica (força máxima exercida), em seguida tal força é ajustada automaticamente e exercida até a ruptura do corpo de prova (força de ruptura).

Figura 5. Máquina de ensaios mecânicos com presas para prender plásticos e extensômetro.



Fonte: Autor, 2015.

A máquina de ensaio de impacto do modelo XJ Series, apresentada na Figura 6, realiza ensaio do tipo Izod, possui painel digital, que apresenta os resultados da força de impacto (KJ/m^2) e energia absorvida (J). Além disso, possui a vantagem de computar o valor da posição de origem, ou descanso do pêndulo (onde se encontrará o corpo de prova) e o ponto *angel* (ponto de maior elevação do pêndulo), gerando assim o valor da angulação desde a origem, e a distância percorrida até o corpo de prova (arco). Foi disponibilizada pelo SENAI de Maracanaú.

Para o ensaio Izod, foi realizado um chanfro no centro do corpo de prova, utilizando uma brochadeira manual para corpo de prova. O chanfro tem raio de 0,25 mm, ângulo de 45° de uma ponta a outra (arco). Após o brochamento, as amostras foram fixadas na morsa da máquina de ensaio de impacto na posição vertical. O pêndulo foi posicionado na posição de trava, localizado a aproximadamente 159° da origem. Ao pressionar o botão *impact*, o pêndulo é solto e choca-se diretamente com o corpo de prova, fraturando-o rapidamente.

Figura 6. Máquina de ensaio de impacto, método Izod. Após a realização de um ensaio, com os valores obtidos sendo demonstrados no painel digital.



Fonte: Autor, 2015.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O computador realiza a leitura e armazena todos os resultados dos corpos de prova. Na Tabela 1 são apresentados os valores mecânicos obtidos no ensaio com cinco corpos de prova com 12,60 mm de largura e 3,05 mm de espessura cada.

Tabela 1. Resultados para as amostras de polipropileno puro.

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (MPa)	Força máxima (N)	Força ruptura (N)	Tensão máxima (KPa)	Tensão de ruptura (KPa)	Deformação Específica (mm/mm)
1	2117.00	1321.30	597.18	34381.97	155539.29	0.09
2	1748.56	1305.34	668.71	33966.82	17400.79	0.09
3	1563.11	1308.26	673.00	34042.70	17512.40	0.09
4	1707.46	1327.82	667.34	34551.60	17365.08	0.09
5	1528.19	1325.24	1163.99	34484.64	30288.46	0.09
6	2096.24	1330.39	624.62	34618.57	16253.54	0.09
7	1744.77	1324.76	890.02	34498.04	23159.39	0.09

Fonte: Autor, 2015.

Nos resultados obtidos, verifica-se que, em média, a amostra possui resistência a tração de 34.36MPa, valor que está de acordo com a teoria. Apesar do corpo de prova 5 ter sofrido maior tensão de ruptura, indicando que se deformou pouco, comportando-se como um material frágil. Isso aconteceu devido alguma imperfeição superficial, conhecido como trincas, ou por alguma impureza que foi adquirida no processo de injeção e que afetou as forças moleculares dessa amostra.

Tabela 2. Resultados para as amostras do compósito de polipropileno com 10% de fibra de vidro.

Corpo de prova	Módulo de elasticidade (MPa)	Força máxima (N)	Força ruptura (N)	Tensão máxima (KPa)	Tensão de ruptura (KPa)	Deformação Específica (mm/mm)
1	2024.36	1202.93	583.11	31301.79	15173.24	0.09
2	1843.16	1199.33	787.43	31208.05	20489.90	0.09
3	2107.18	1189.20	579.51	30944.67	15079.50	0.09
4	2089.54	1203.79	501.45	31324.11	13048.36	0.08
5	1825.26	1203.61	599.58	31319.65	15601.79	0.09
6	1765.62	1204.13	661.68	31333.04	17217.77	0.09
7	1726.24	1191.09	605.24	30993.77	15749.10	0.09

Fonte: Autor, 2015.

Diferente do esperado, os valores das resistências à tração do compósito foram inferiores comparados aos da amostra de polipropileno puro. Em média, a resistência obtida foi de 31.20 MPa, cerca de 3 MPa a menos do que na amostra com polipropileno puro. A conclusão obtida foi que o aumento do teor de cargas ocasionou uma diminuição na tensão de ruptura dos compósitos, deixando-os dúcteis, independente do tipo de reforço aplicado. Além disso, o aumento das cargas produz regiões interfaciais mal dispersas de alta fragilidade, reduzindo a tensão máxima suportada.

Ou seja, a adição de cargas gera micros vazios entre a matriz e o reforço, que interfere na distribuição de forças no ensaio de tração.

Para a amostra de polipropileno puro, a força de impacto (KJ/m²) e a energia de absorção do material (J) foram dimensionadas.

O método z-score, que representa o quanto uma medida se afasta da média em termos de desvio padrão, é utilizado para reconhecer os dois corpos de prova que serão desconsiderados. Para isso, o valor da média e desvio padrão, da força de impacto ou energia absorvida, deve ser calculado.

A média da força de impacto obtida é de 3.34 KJ/m² e o desvio padrão 0.62 KJ/m². Então, a seguinte equação foi utilizada:

$$z\text{-score} = \frac{x - \text{média}}{\text{desv. Pad.}} \quad x = \text{valor amostral.}$$

Após calcular o z-score de cada valor de força de impacto, utilizando o software excel, verificamos os dois pontos mais distantes do zero, obtidos no z-score, que são do corpo de prova 3 e 7, logo foram desconsiderados. Uma nova média agora foi calculada para as cinco amostras remanescentes. O valor médio da força de impacto é de 3.15 KJ/m² e o valor da energia absorvida 0.107 J. Para a amostra do compósito com 10% de fibra de vidro, o mesmo procedimento foi realizado. Os corpos de prova 4 e 6 foram desconsiderados, e, a nova média, dos corpos de prova remanescentes, é de 3.02 KJ/m², e, a média da energia absorvida é de 0.108 J. Comparando as duas amostras, verifica-se que o compósito é mais tenaz, e isso é observado pelo valor da força de impacto ser inferior e a energia absorvida ser superior ao da amostra com polipropileno virgem.

CONCLUSÕES

Com os estudos levantados para a elaboração desta pesquisa, a mistura de fibra de vidro em pó em um compósito de matriz termoplástica (polipropileno), foi considerada a melhor escolha, não somente pela possível capacidade do compósito atender a especificação do projeto, mas também devido ao seu fácil manuseio. Os ensaios de resistência à tração comportaram-se de forma inesperada, pois de acordo com a literatura, o compósito, com o auxílio dos agentes de reforço, deveria apresentar resistências mecânicas mais elevadas e se comportar como um material mais duro em comparação com a amostra pura. Para solucionar o problema, autores utilizam agentes de acoplamento, como polipropileno modificado com anidrido maleico (PPAM), melhorando a compatibilidade entre os constituintes do compósito, e a transferência de esforços entre a matriz e o reforço, o que aumentou as resistências mecânicas das amostras.