cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Efeito da lã de ovelha micronizada como carga fibrosa nas propriedades de compósitos de borracha nitrílica (NBR)

Ricardo Henrique dos Santos[1]; Dener da Silva Souza[1]; Samara Aaraújo Kawall[1]; Leandro Ferreira Pinto[1]; Carlos Toshiyuki Hiranobe[1] e Renivaldo José dos Santos[1]
1.Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus de Rosana

Introdução

A busca por materiais mais sustentáveis tem impulsionado o uso de resíduos naturais como cargas de reforço em compósitos elastoméricos. Nesse contexto, a lã de ovelha, um subproduto agroindustrial frequentemente subutilizado, apresenta potencial para aplicação em borracha nitrílica (NBR), contribuindo para a valorização de resíduos e para o desenvolvimento de materiais alinhados aos princípios da economia circular.

Objetivos

Avaliar o efeito da incorporação de lã de ovelha micronizada como carga fibrosa nas propriedades reométricas, mecânicas e estruturais de compósitos de borracha nitrílica (NBR) vulcanizados.

Metodologia

Foram produzidos compósitos de NBR contendo 0, 5, 10, 15 e 20 phr de lã de ovelha micronizada, utilizando silano Si69 e óleo de soja epoxidado como agentes de compatibilização. As formulações foram vulcanizadas a 160 °C e caracterizadas por ensaios reométricos, dureza Shore A, densidade, abrasão, tração e espectroscopia FTIR-ATR para avaliação das propriedades e das interações entre matriz e carga.

Resultados e Discussão

A presença de lã elevou a viscosidade mínima ML de 4,37 (F0) para 5,39 dNm (F4) e reduziu os tempos de processamento/cura (ts: 3,97→2,64 min; t90: 5,62→4,32 min), sugerindo maior estruturação do composto e cura mais rápida com o aumento de carga, enquanto MH permaneceu próximo (~29,8–31,1 dNm). A Tabela 1 apresenta os resultados da reometria.

Tabela 1. Parâmetros reométricos.

Compósitos	M_L (dNm)	M_H (dNm)	t_s (min)	t_{90} (min)
F0	4,37 ± 0,13	30,17 ± 07,9	3,97 ± 0,05	5,62 ± 0,22
F1	4,37 ± 0,07	29,87 ± 0,66	3,37 ± 0,01	4,78 ± 0,16
F2	4,86 ± 0,0	29,79 ± 0,73	3,16 ± 0,03	4,53 ± 0,21
F3	5,23 ± 0,07	31,00 ± 0,96	2,89 ± 0,04	4,44 ± 0,58
F4	5,39 ± 0,13	31,07 ± 1,63	2,64 ± 0,03	4,32 ± 0,91

Observou-se aumento de rigidez macroscópica pela dureza (52→63 Shore A) e leve aumento de densidade (1,09→1,12 g/cm³). Por outro lado, a perda por abrasão aumentou de 40 para 73 mm³/40 m, indicando baixa resistência ao desgaste com maiores teores de lã, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Dureza, densidade e resistência à abrasão.

Compósitos	Dureza (shore A)	Densidade (g/cm³)	Abrasão (mm³ / 40m)
F0	52 ± 1	1,09	40 ± 4,30
F1	53 ± 0	1,1	54 ± 2,70
F2	54 ± 0	1,11	57 ± 6,59
F3	59 ± 1	1,12	65 ± 13,08
F4	63 ± 1	1,12	73 ± 10,90

A incorporação de lã reduziu a tensão de ruptura e aumentou a deformação na ruptura para teores ≥10 phr. A formulação com 10 phr (F2) apresentou o melhor equilíbrio entre elevado alongamento e resistência mecânica próxima à do composto controle, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Resistência à tração.

Compósitos	Tensão ruptura (MPa)	Deformação ruptura (%)
F0	1,31 ± 0,13	209,57 ± 34,50
F1	1,14 ± 0,04	217,03 ± 9,89
F2	1,22 ± 0,11	255,63 ± 23,32
F3	1,13 ± 0,07	246,65 ± 17,43
F4	1,03 ± 0,05	249,98 ± 23,88

A análise por FTIR-ATR confirmou a presença das bandas características da NBR e da queratina da lã, evidenciando a coexistência dos constituintes e possíveis interações na interface, conforme Figura 1.

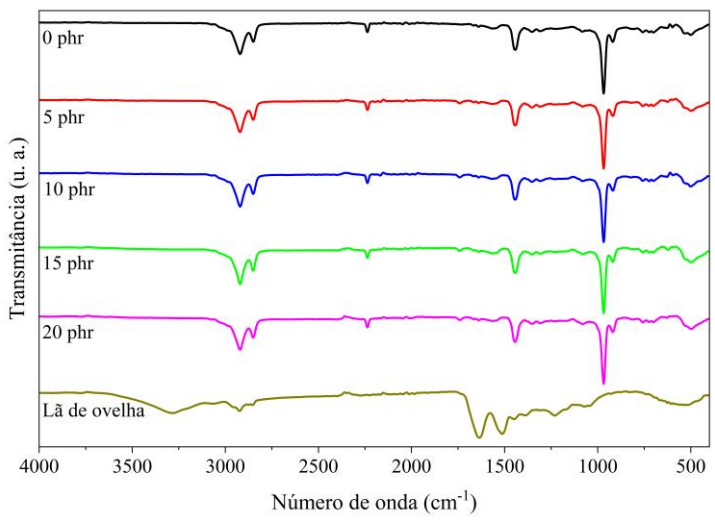


Figura 1. Espectroscopia no infravermelho.

Conclusões

A lã de ovelha micronizada mostrou potencial como carga bio-baseada para NBR, promovendo maior dureza e cura mais rápida. A formulação com 10 phr apresentou o melhor equilíbrio de propriedades, indicando potencial para aplicações em componentes elastoméricos onde a resistência à abrasão não seja um requisito crítico.

Referências e Agradecimentos

1. Jóźwiak-Niedźwiedzka, D.; Fantilli, A.P. (2020). Wool-Reinforced Cement Based Composites. Materials, 13(16), 3590.
2. del Rey, R.; Uris, A.; Alba, J.; Candelas, P. (2017). Characterization of Sheep Wool as a Sustainable Material for Acoustic Applications. Materials, 10(11), 1277.
3. Szadkowski, B.; Marzec, A.; Rybiński, P. (2020). Silane Treatment as an Effective Way of Improving the Reinforcing Activity of Carbon Nanofibers in Nitrile Rubber Composites. Materials, 13(16), 3481.