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

# Compósitos de borracha de silicone (VMQ) reforçados com palha de cana-de-açúcar micronizada: Efeito nas propriedades reométricas, mecânicas e estruturais

Carlos Toshiyuki Hiranobe[1,2]; Camila Liendra Rausis Hiranobe[3]; Ricardo Henrique dos Santos[1], Dener da Silva Souza[1], Samara Araújo Kawall[1], Leandro Ferreira Pinto[1,2], Renivaldo José dos Santos e Alex[1] Otávio Sanches[2]

1.Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Rosana; 2.Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira; 3.Centro Universitário de Pinhais (FAPI)

## Introdução

A demanda por materiais sustentáveis de alto desempenho tem impulsionado o desenvolvimento de compósitos poliméricos com cargas vegetais. Nesse contexto, a incorporação de palha de cana-de-açúcar em borracha de silicone (VMQ) representa uma alternativa sustentável e economicamente viável para a valorização de elastômeros.

## Objetivos

Investigar a influência da adição de palha de cana-de-açúcar micronizada nas propriedades reométricas, mecânicas e estruturais de compósitos de borracha de silicone.

## Metodologia

Foram preparados compósitos de borracha VMQ contendo 0, 5, 10, 15, 20 e 30 phr (per hundred rubber – por cem partes de borracha) de palha de cana-de-açúcar micronizada, utilizando 1 phr de viniltrimetoxissilano (VTMO) como agente de acoplamento e 1,5 phr de peróxido de dicumila como agente reticulante. Os materiais foram caracterizados por ensaios reométricos, propriedades físico-mecânicas (dureza, densidade, resistência à tração, alongamento na ruptura e abrasão) e espectroscopia FTIR-ATR para avaliação das interações entre a matriz elastomérica e a carga vegetal

## Resultados e Discussão

Os resultados reométricos indicaram aumento do torque máximo ($M_H$) de 24,44 para 36,68 dNm com o aumento da carga, evidenciando maior rigidez da rede. Os tempos de cura ($t_{90}$) permaneceram entre 0,83 e 1,08 min, sugerindo que a palha não interfere significativamente na vulcanização por peróxido. A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros reométricos dos compósitos.

Tabela 1. Parâmetros reométricos dos compósitos

| Compósitos | $M_L$ (dNm) | $M_H$ (dNm) | $t_s$ (min) | $t_{90}$ (min) |
|---|---|---|---|---|
| SP0 | 5,99 ± 1,26 | 24,44 ± 0,17 | 0,36 ± 0,14 | 0,83 ± 0,15 |
| SP1 | 6,03 ± 0,77 | 27,38 ± 0,17 | 0,37 ± 0,07 | 1,01 ± 0,10 |
| SP2 | 5,80 ± 0,07 | 29,30 ± 0,28 | 0,38 ± 0,03 | 1,06 ± 0,08 |
| SP3 | 7,38 ± 1,24 | 30,96 ± 0,30 | 0,37 ± 0,01 | 1,03 ± 0,02 |
| SP4 | 8,55 ± 1,91 | 33,52 ± 0,66 | 0,40 ± 0,0 | 1,08 ± 0,08 |
| SP5 | 9,23 ± 0,28 | 36,68 ± 0,07 | 0,38 ± 0,01 | 1,03 ± 0,03 |

A dureza aumentou de 40 para 61 Shore A, enquanto a densidade reduziu levemente (1,17 para 1,11 g/cm³). A resistência à abrasão também diminuiu, com perda de volume de 23 para 154 mm³. A Tabela 2 apresenta os resultados dos compósitos.

Tabela 2. Densidade, dureza e abrasão.

| Compósitos | Densidade (g/cm³) | Dureza (Shore A) | Abrasão (mm³ / 40m) |
|---|---|---|---|
| SP0 | 1,17 ± 0,00 | 40 ± 0 | 23 ± 7,58 |
| SP1 | 1,17 ± 0,00 | 53 ± 1 | 21 ± 1,39 |
| SP2 | 1,16 ± 0,01 | 57 ± 1 | 34 ± 3,76 |
| SP3 | 1,14 ± 0,00 | 57 ± 0 | 51 ± 3,08 |
| SP4 | 1,12 ± 0,02 | 58 ± 0 | 87 ± 23,65 |
| SP5 | 1,11 ± 0,01 | 61 ± 1 | 154 ± 14,16 |

As propriedades de resistência à tração apresentaram redução, conforme Tabela 3: a resistência diminuiu de 7,69 para 1,45 MPa e o alongamento de 651,84% para 173,49%, indicando comportamento predominantemente como carga de enchimento.

Tabela 3. Resistência à tração dos compósitos.

| Compósitos | Tensão ruptura (MPa) | Deformação ruptura (%) |
|---|---|---|
| SP0 | 7,69 ± 1,29 | 651,84 ± 33,14 |
| SP1 | 5,44 ± 0,28 | 459,44 ± 30,05 |
| SP2 | 3,54 ± 0,18 | 314,13 ± 17,03 |
| SP3 | 2,99 ± 0,43 | 261,23 ± 81,94 |
| SP4 | 1,79 ± 0,27 | 153,85 ± 53,26 |
| SP5 | 1,45 ± 15,17 | 173,49 ± 50,55 |

O FTIR-ATR confirmou bandas da matriz siloxânica e da carga lignocelulósica, com sobreposição na região de 1000–1081 $cm^{-1}$, sugerindo interação química mediada pelo VTMO, conforme Figura 1.

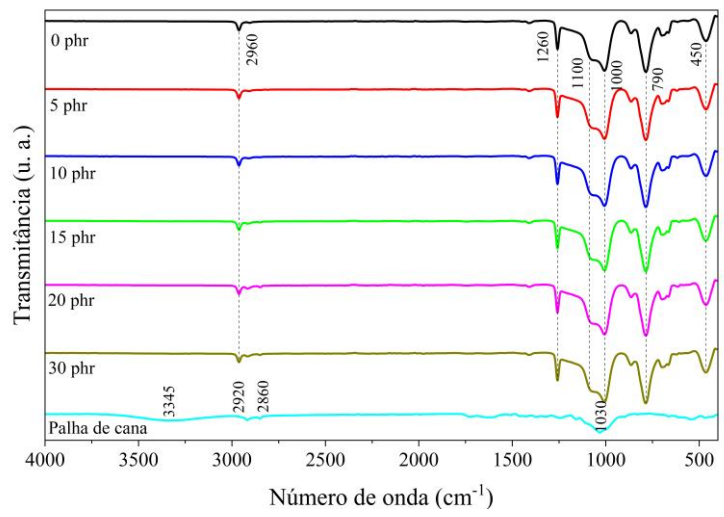



Figura 1. Espectroscopia no infravermelho.

## Conclusões

Conclui-se que a palha de cana micronizada aumenta a rigidez e a dureza dos compósitos, porém compromete propriedades mecânicas. Teores de 5–10 phr apresentaram melhor equilíbrio entre rigidez e elasticidade. Os materiais desenvolvidos apresentam potencial para aplicações de baixa solicitação mecânica, como vedações, isolantes elétricos e componentes amortecedores, contribuindo para o aproveitamento de biomassa residual em consonância com a economia circular.

## Referências e Agradecimentos

1. MARK, James E. Some interesting things about polysiloxanes. Accounts of chemical research, v. 37, n. 12, p. 946-953, 2004.

2. ZARE, Mina et al. Silicone-based biomaterials for biomedical applications: antimicrobial strategies and 3D printing technologies. Journal of applied polymer science, v. 138, n. 38, p. 50969, 2021.

3. CHRUŚCIEL, Jerzy J. Most important biomedical and pharmaceutical applications of silicones. Materials, v. 18, n. 11, p. 2561, 2025.