

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS COMPÓSITOS UTILIZANDO POLIÉSTER E BAGAÇO DE MANDIOCA¹

 <https://orcid.org/0000-0002-0039-536X>  [Daiane Romanzini²](mailto:daiane.romanzini@feliz.ifrs.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0002-2653-1286>  [Guilherme Gustavo Hepp³](mailto:gui.hepp@hotmail.com)

Resumo: A *manihot sculenta*, conhecida como mandioca, é uma planta cultivada em praticamente toda a América, sendo a fécula um dos principais substratos obtidos a partir da raiz. A produção da fécula de mandioca gera resíduos como o bagaço da mandioca, que apesar de ser rico em amido residual e fibras, não possui destinação que agregue valor. Desse modo, o objetivo deste estudo é a obtenção e caracterização de compósitos de resina poliéster contendo bagaço de mandioca. Os resultados foram comparados com compósitos produzidos com carbonato de cálcio, que é tradicionalmente usado na indústria. O bagaço obtido foi desidratado, moído e caracterizado através da análise termogravimétrica, apresentando resultados semelhantes aos encontrados na literatura. O compósito foi obtido através da técnica de *casting*, com teores de 9,1% e 16,6% em massa de bagaço de mandioca, e analisado a partir de ensaios mecânicos e físicos. Os resultados mostraram que a incorporação de bagaço de mandioca aumenta a viscosidade, a densidade e a absorção de água do compósito. Já o tempo de gel apresentou valores próximos àqueles reportados pela resina poliéster, e superior ao do poliéster contendo carbonato de cálcio. A resistência à flexão e o módulo de elasticidade apresentaram resultados semelhantes aos da resina pura. Dessa forma, o bagaço de mandioca, um resíduo da produção de fécula de mandioca, se apresenta como potencial para ser usado em compósitos com matriz poliéster.

Palavras-chave: bagaço de mandioca; matriz poliéster; carbonato de cálcio.

INTRODUÇÃO

Estima-se que a mandioca tenha surgido entre 10 e 12 mil anos atrás na região amazônica (NEUBERT, 2013). Um dos principais produtos obtidos através da mandioca é a fécula de mandioca, sendo a região sul responsável por 72,3% da produção nacional em 2009 (FELIPE et al., 2010). Entretanto, sua produção gera resíduos, como o bagaço da mandioca, que é rico em fibras e amido residual. Uma vez que o bagaço de mandioca não possui considerável valor comercial (FIORDA et al., 2013), algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas utilizando o bagaço de mandioca.

Compósitos têm a premissa de atender ao princípio da ação combinada de dois ou mais materiais distintos. As propriedades desses materiais são resultado das propriedades dos seus constituintes, suas respectivas frações e arranjo dos materiais no sistema. Podem ser classificados em compósitos reforçados por fibras, por partículas, ou

¹ Este trabalho de pesquisa foi realizado no IFRS Campus Feliz, "Funcionalização de argila e desenvolvimento de compósitos e nanocompósitos poliméricos", EDITAL IFRS Nº 64/2019– FOMENTO INTERNO 2020/2021.

² Coordenadora do curso de Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Feliz. **Contato:** daiane.romanzini@feliz.ifrs.edu.br.

³ Egresso do curso de Bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Feliz. **Contato:** gui.hepp@hotmail.com.

estruturais (CALLISTER & RETHWISCH, 2021; EGBO, 2021). Neste estudo, foram desenvolvidos compósitos particulados.

Dentre os usos da matriz polimérica na obtenção de compósitos, destaca-se o uso nas indústrias automobilística e aeronáutica. Uma característica que desperta o interesse ao uso de matrizes poliméricas na obtenção de compósitos é a capacidade de agregar leveza ao material. O poliéster insaturado é utilizado na obtenção de compósitos e possui elevadas propriedades elétricas, mecânicas e químicas, além de um baixo custo (ROMANZINI, 2016). A utilização de carbonato de cálcio (CaCO_3) é recorrente em compósitos de matriz polimérica, ou seja, é de uso tradicional na indústria automotiva. No entanto, alguns trabalhos já utilizaram materiais de origem vegetal como reforço particulado em matriz polimérica, como Ferreira (2017), que utilizou sabugo de milho triturado como reforço em compósito de matriz poliéster.

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo a obtenção de compósito de matriz poliéster contendo o bagaço de mandioca em pó. O bagaço de mandioca foi produzido a partir de mandioca colhida na região, e, depois de desidratado, em estufa e moído, o pó resultante foi misturado à resina poliéster antes da cura. Os corpos de prova foram obtidos por técnica de *casting*, em moldes de silicone, e foram caracterizados a fim de verificar se a adição do bagaço de mandioca à matriz poliéster altera as propriedades físicas (densidade, absorção de água) e mecânicas (resistência à flexão) do material. Além disso, os resultados foram comparados com compósitos contendo resina poliéster e o carbonato de cálcio, que é tradicionalmente usado na indústria.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

A mandioca utilizada para a obtenção do bagaço foi colhida na propriedade no interior do município de São José do Hortêncio. A resina poliéster, o iniciador peróxido de metil etil cetona e o agente desmoldante poli (álcool vinílico) (PVA) foram adquiridos na Redelease (São Paulo, SP, Brasil). O carbonato de cálcio foi adquirido na empresa Metaquímica (Jaraguá do Sul, SC, Brasil).

Em que V é a viscosidade (cSt) e t é o tempo (s). O tempo de gel foi determinado de acordo com adaptações da ASTM D 2471-22. O ensaio de densidade foi realizado em triplicata, de acordo com adaptações da norma ASTM D 792-95. O ensaio de absorção de água foi adaptado da ASTM D 570-10, totalizando 15 dias de experimento. O ensaio foi realizado em triplicata, e o percentual de absorção de água (w) foi calculado de acordo com a Equação 2:

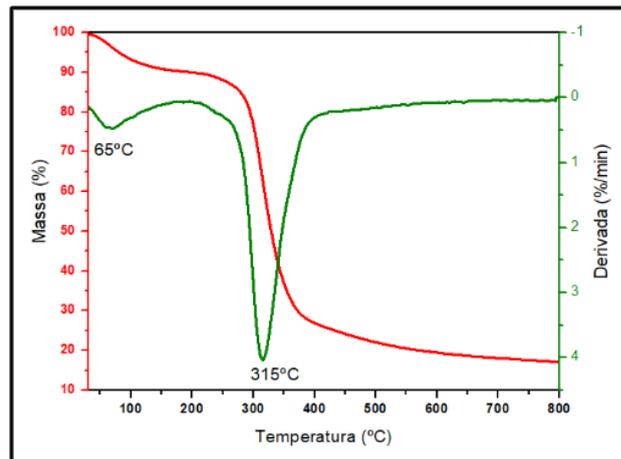
$$w = \frac{M_f - M_i}{M_i} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que w é a absorção de água em porcentagem (%), M_i e M_f são as massas (g) inicial e final das amostras respectivamente. O ensaio de flexão foi realizado em uma máquina universal de ensaios mecânicos EMIC DL-2000, no IFRS *Campus Caxias do Sul*, de acordo com a norma ASTM D 7264M-07. O teste foi conduzido usando célula de carga de 5 kN.

3 RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados do ensaio termogravimétrico, em que se pode observar a variação de massa (vermelho) e valores para a derivada primeira da curva de perda de massa (verde), ambos em função da temperatura. A partir dos valores da derivada, pode-se observar dois eventos máximos de perda de massa. O primeiro (65 °C) representa a perda de água da amostra e o segundo (315 °C) a degradação térmica do bagaço de mandioca. Os resultados são semelhantes aos reportados na literatura por Brito (2019).

Figura 1 - Eventos de perda de massa do bagaço de mandioca e derivada



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Tabela 2 apresenta os resultados para os ensaios de caracterização físicos e mecânicos da resina pura e dos compósitos obtidos com bagaço de mandioca e carbonato de cálcio.

Tabela 2 - Resultados da caracterização física e mecânica da resina pura (RP-100) e dos compósitos produzidos com carbonato de cálcio e bagaço de mandioca em diferentes teores.

Amostras	RP-100	RP-CaCO ₃ -9, 1	RP-CaCO ₃ -16, 6	RP-BagMand-9 ,1	RP-BagMand-16 ,6
Viscosidade, cSt	701,8	750,2	774,4	762,3	1076,9
Tempo de gel (min)	23,12	18,44	12,23	23,52	26,49
Densidade	1,21±0,016	1,24±0,045	1,32±0,01	1,21±0,003	1,23±0,01
Água absorvida, %	1,43 ± 0,05	0,59 ± 0,02	0,76 ± 0,02	4,19 ± 0,10	5,72 ± 0,15
Resistência à flexão, MPa	32,41±2,54	34,46±2,41	28,60±9,73	29,28±2,82	28,04±2,30
Módulo de elasticidade, MPa	2730±423	3047±373	3517±716	2411±311	2760±303

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Em relação ao teste de viscosidade, todas as amostras apresentaram um aumento na viscosidade, com a incorporação do reforço, que foi mais pronunciada para aquelas contendo o bagaço de mandioca. Segundo Garay e colaboradores (2019), a interação do carbonato de cálcio e a resina poliéster diminui a temperatura, o que ocasiona uma menor energia cinética média entre as moléculas, o que torna as interações intermoleculares mais fortes, resultando num aumento de viscosidade. Ainda, de acordo com Garbin (2020), a mobilidade das cadeias poliméricas da resina poliéster irá diminuir

com a adição de reforço, devido à restrição do movimento das cadeias. Isso explica o aumento da viscosidade, com o aumento do teor incorporado.

Os resultados obtidos para o tempo de gel mostraram uma redução nos valores para as amostras contendo carbonato de cálcio a 9,1% e 16,6%, de 18,44 s e 12,23 s, respectivamente, quando comparado com a resina (23,12 s) e com aqueles contendo 9,1% (23,52 s) e 16,6% (26,49 s) de bagaço de mandioca. Segundo Garay e colaboradores (2019), o carbonato possui um coeficiente de condutividade entre 2,4 a 3,0 $W.K^{-1}.m^{-1}$, e a resina entre 0,17 e 0,21 $W.K^{-1}.m^{-1}$ (GARBIN, 2020). De acordo com Garbin (2020), a adição de reforço ($CaCO_3$, nesse caso) causa aumento na condutividade térmica da resina, com isso, tende-se a reduzir o tempo de gel, uma vez que o sistema atinge a temperatura de iniciação mais rapidamente.

Os valores de densidade das amostras estudadas são apresentados na Tabela 2. Como pode ser observado, a densidade média das amostras contendo bagaço de mandioca aumentou em relação à da resina poliéster pura, o que representa um aspecto negativo, uma vez que a baixa densidade é uma das características buscadas nos compósitos poliméricos. No entanto, se comparado com o carbonato de cálcio, o aumento na densidade é menos pronunciado para as amostras contendo o bagaço. Em relação aos resultados encontrados para o ensaio de absorção de água, há um aumento ao utilizar 9,1% e 16,6% de bagaço da mandioca (~4,19% e ~5,72%, respectivamente) em relação a resina (1,43%), ao contrário do que ocorre com a incorporação de 9,1% e 16,6% de carbonato de cálcio (~0,59% e ~0,76%, respectivamente), que é um material inorgânico. Segundo Edhirej e colaboradores (2016), o aumento da absorção da água em materiais que tenham em sua composição o bagaço de mandioca pode ser explicado pela presença de grupos hidroxilas que são hidrofílicos.

A resistência à flexão apresentou baixa variação, considerando o desvio padrão. Porém, as amostras contendo bagaço de mandioca apresentaram uma tendência de redução na resistência à flexão, quando comparado com as amostras contendo carbonato de cálcio e para a resina poliéster. Também, foi possível verificar que as amostras contendo 9,1% de bagaço de mandioca e carbonato de cálcio tiveram melhores resultados quando comparados com as amostras contendo 16,6%. Ferreira (2017)

também observou uma menor resistência à flexão ao adicionar sabugo de milho triturado à matriz poliéster, e que em teores maiores de sabugo triturado, a resistência diminuía. Ele atribui esse efeito à baixa interação entre a matriz e o reforço, bem como o aumento de vazios na compósito, gerado pela granulidade do sabugo triturado. Segundo Ferreira (2017), os reforços particulados acabam gerando pontos de maior concentração de tensão quando inseridos em matrizes poliméricas. Bon e colaboradores (2019) obtiveram melhora nos resultados de resistência à flexão ao adicionar farinha de bagaço de mandioca à matriz polimérica de polipropileno, mas percebeu que em teores elevados de bagaço de mandioca a resistência à flexão voltava a diminuir.

Em relação ao módulo de elasticidade, as amostras contendo 16,6% de carbonato de cálcio tiveram um resultado maior em relação às outras amostras. As amostras contendo 16,6% de bagaço de mandioca apresentou o resultado mais próximo ao da resina poliéster pura, e superior às amostras reforçadas por 9,1% de bagaço de mandioca. Os resultados apresentados por Ferreira (2017) mostraram um aumento gradual do módulo de elasticidade com o incremento de resíduo particulado à matriz poliéster, e afirma que a quanto menores forem as forças de ligação interatômicas da matriz e do reforço, maior será o módulo de elasticidade e, conseqüentemente, maior a rigidez do material e menor sua deformação elástica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral, foi possível obter compósito de matriz poliéster contendo o bagaço de mandioca. A metodologia usada para preparação do bagaço de mandioca resultou em um material que apresenta resultado para perda de massa em função da temperatura condizente com aqueles encontrados na literatura. Além do mais, quando comparados os resultados dos compósitos produzidos com bagaço de mandioca, com aqueles produzidos com carbonato de cálcio, que tradicionalmente é usado na indústria, pode-se perceber que, para o teste de viscosidade, as amostras contendo bagaço de mandioca apresentaram um aumento mais pronunciado, principalmente para aquelas contendo 16,6% em massa. Dependendo da forma de processamento, o aumento da viscosidade pode interferir, como exemplo, pode aumentar o tempo esperado de preenchimento do meio fibroso. Já os resultados obtidos para tempo de gel foram

positivos, uma vez que as amostras contendo bagaço de mandioca apresentaram um tempo de gel semelhante ao da resina poliéster pura, ou seja, o tempo de manuseio da resina não se altera.

Outro aspecto positivo da incorporação do bagaço de mandioca em relação ao carbonato de cálcio é a possibilidade de produção de materiais mais leves (menor densidade). Por outro lado, como esperado, devido ao caráter hidrofílico do bagaço de mandioca, houve uma absorção de água superior a das amostras contendo carbonato de cálcio. Portanto, deve-se atentar ao fato de que a aplicação desse produto fica limitada pelos maiores valores de absorção de água encontrados. Por outro lado, os resultados mostraram que a incorporação de bagaço de mandioca, principalmente no teor de 16,6%, não afeta de modo considerável as propriedades mecânicas da resina pura. Ou seja, o uso de bagaço de mandioca seria uma alternativa para substituir parte da resina poliéster, que tem um valor agregado, por um resíduo de um processo. Isso contribui para a redução de custo do produto final, sem o comprometimento das propriedades mecânicas, o que indica um desenvolvimento sustentável, uma vez que o bagaço de mandioca é um material de descarte e ambientalmente amigável.

REFERÊNCIAS

BRITO, Jéssica H. et al. **Produção e Caracterização Estrutural, Morfológica e Térmica de Filmes Biodegradáveis Utilizando Amido de Caroço de Abacate (*Persea americana Mill*) e Bagaço de Mandioca (*Manihot esculenta Crantz*)**. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

EDHIREJ, Ahmed et al. Preparation and Characterization of Cassava Bagasse Reinforced Thermoplastic Cassava Starch. **Fibers and Polymers**, v. 18, n. 1, p. 162-171, 2017.

EGBO, Munonyedi K. A fundamental review on composite materials and some of their applications in biomedical engineering. *Journal of King Saud University*, v. 33, p. 557-568, 2021.

FELIPE, Fábio I.; ALVES, Lucílio R. A.; DE CAMARGO, Samira G. C. Panorama e Perspectivas Para a Indústria de Fécula de Mandioca no Brasil. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 6, p. 134-146, nov. 2010.

FERREIRA, Edson A. **Avaliação das Propriedades Mecânicas e Térmicas de um Compósito Polimérico Reforçado por Particulados de Sabugo de Milho Triturado.** 147 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2017.

FIORDA, Fernanda A. et al. Farinha de Bagaço de Mandioca: Aproveitamento de Subproduto e Comparação com Fécula de Mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, p. 408-416, dez, 2013;

GARAY, André C.; SÁ, Fabrício L.; AMICO, Sandro C. Estudo das Características de Interesse do Sistema Poliéster/Carbonato de Cálcio Para o Processo RTM. Trabalho apresentado no 10º Congresso Brasileiro de Polímeros, Foz do Iguaçu, out. 2009.

NEUBERT, Enilto de O. Santa Catarina: O Berço da Industrialização da Mandioca. **Agropecuária Catarinense**, v. 26, n. 1, p. 14-16, mar. 2013.

ROMANZINI, D. **Efeito da Organossilanização de Argilas Montmorilonita (Mt) nas Propriedades de Nanocompósitos Mt/Poliéster e Mt/Poliéster/Fibra de Vidro Moldados por RTM.** 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Porto Alegre, 2016.