



AVALIAÇÃO MECÂNICA DA INSERÇÃO DE PÓ DE GRANITO EM PRFV COM CONTROLE DE ESPESSURA

Rafaela J. M. França^{1*}, Moisés M. Lima¹, Ana C. M. C. Batista¹, Adiana N. Silva¹

1 - Departamento de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, RN. Rua Amapá, nº 750, apto 09, Neópolis, Natal, CEP 59080-130, RN.

rafaelajordania@hotmail.com

RESUMO

O descarte indevido de resíduos industriais tem aumentado significativamente os impactos ambientais. Nesse contexto, os materiais compósitos, resultado da combinação de materiais distintos na sua fabricação, surgem como uma alternativa para a utilização desses rejeitos. Diante disso, surge a necessidade de estudos do comportamento mecânico desses novos materiais com o intuito de viabilizar suas aplicações. Assim, a presente pesquisa traz um comparativo do PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro) puro e com adição de carga mineral (pó de granito) em diferentes granulometrias, na formação desses laminados. Objetivando um melhor entendimento da adição do granito como reforço particulado nos compósitos poliméricos, com 3 camadas de manta de fibra de vidro e controle de espessura, e, melhor análise da influência em suas propriedades mecânicas, empregou-se ensaio de tração uniaxial, de acordo com a norma ASTM D 3039 (2014). Os resultados revelaram que o emprego dos resíduos na construção de novos materiais, trouxe ao compósito, com granulação entre 90 - 180 μm , influências positivas nas suas propriedades mecânicas. Observou-se neste compósito um aumento de 24,10 % da sua rigidez em relação ao PRFV, verificando-se valor de $2,06 \pm 0,25$ GPa, demonstrando que, ao se manter a espessura, a adição do pó de granito pode agregar benefícios ao compósito.

Palavras-chave: Compósito. Minério de pedra. Comportamento mecânico. Resíduo.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento desenfreado da sociedade tem desencadeado o consumo excessivo de produtos, impulsionando o aumento no descarte indevido de resíduos industriais, impactando o meio ambiente ⁽¹⁾. Das atividades industriais, a mineração apresenta grande relevância socioeconômica, todavia, contribui de forma significativa na propagação desses impactos, devido sua alta produção de resíduo e descarte inadequado ⁽²⁾. A ciência dos materiais, indagando minimizar o descarte desses, tem realizado pesquisas para o desenvolvimento de novos materiais usando resíduos minerais, que apresentem propriedades favoráveis, como os compósitos ⁽¹⁾. Destaca-se que já existem trabalhos desenvolvidos na área ^(3, 4, 5) com o estudo da influência na inserção de pó de pedra (calcário e granito) em compósitos poliméricos.

Os materiais compósitos, segundo Daniel e Ishai ⁽⁶⁾, constitui-se como um material com duas ou mais fases (reforço e matriz) em escala macroscópica, resultado da combinação de

materiais distintos na sua fabricação, cujo desempenho mecânico e propriedades são projetadas para serem superiores aos constituintes, agindo assim de forma independente.

O estudo de França⁽⁴⁾, mostrou que o resíduo de granito proveniente de pedreiras, pode ser utilizado na construção de novos materiais, como os compósitos, unindo características favoráveis (aumento de rigidez) de acordo com as necessidades e contribuindo para a redução dos impactos ambientais gerados.

Deste modo, este estudo propõe um comparativo de compósitos poliméricos reforçado com fibra de vidro (PRFV) utilizando granito com diferentes granulometrias e realizando o controle de espessura (3 camadas de manta). Uma relação com o mesmo material, mantendo a espessura livre (4 camadas de manta), realizado por França⁽⁴⁾ será utilizado para avaliar a real influência do controle dessa espessura.

O trabalho objetiva, por meio do ensaio de tração uniaxial, um melhor entendimento das propriedades mecânicas dos compósitos desenvolvidos a partir da adição do granito, como reforço particulado nos compósitos poliméricos com esse tipo de manta. Outro ponto de interesse destes compósitos foi o controle de espessura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a fabricação dos materiais, utilizou-se como reforço fibroso (manta de fibra de vidro), segundo França⁽⁴⁾, apresentando gramatura de $(595 \pm 81,81)$ g/m² e comprimento médio das fibras de 5,00 cm; como reforço particulado (pó de granito), com granulometrias de (53µm - 90 µm e 90 µm - 180µm) e como matriz, a resina poliéster cristal.

Utilizando-se o processo de fabricação *Hand Lay-up*, foi confeccionado o compósito puro, constituído da manta da fibra de vidro e resina poliéster, amostra usada como parâmetro para comparação dos laminados com a inserção do pó de granito. Aproximadamente 1200g de resina e 0,5% do catalisador compôs a mistura, com sua homogeneização e impregnação às 3 camadas da fibra possibilitaram que a manta ficasse bem umedecida, para eliminação do máximo de bolhas possíveis e, posteriormente a sobreposição do molde de vidro garantiu a aderência e a uniformidade da placa, a qual permaneceu por 24 horas em descanso para a sua cura.

Para a confecção das demais placas com a adição do pó de granito, seguiu-se o mesmo processo de laminação, diferindo apenas na adição do particulado, nas granulometrias de 53µm - 90 µm e 90 µm - 180 µm e, com proporção de 10% da massa da resina que foi de 1200g da poliéster e com adição de 0,5% de catalisador. No Quadro 1 estão especificadas as amostras dos compósitos fabricados para realização do estudo.

Quadro 1: Especificações dos compósitos.

Especificação	Definição
PRFV	Plástico Reforçado com 3 camadas de manta de Fibra de Vidro, resina poliéster, com controle de espessura.
PRFV+ G ₅₃₋₉₀ ^{10%}	PRFV adicionando-se 10% de granito em relação a massa da resina com granulometria entre 53 µm - 90 µm, com controle de espessura.
PRFV+ G ₉₀₋₁₈₀ ^{10%}	PRFV adicionando-se 10% de granito em relação a massa da resina com granulometria entre 90 µm - 180 µm, com controle de espessura.

Baseando-se na norma ASTM D 3039⁽⁷⁾, foi realizado o ensaio de tração uniaxial, com a recomendação de corpos de prova (primeira vez que citou a sigla) (CPs) com um comprimento

total de 250 mm, porém devido as dimensões da garra da máquina de ensaio, foi utilizado um comprimento de 240 mm, respeitando o galgo de 127 mm. As demais dimensões dos CPs de tração forma, largura de 25 mm ($\pm 0,25$) e espessura de 4,00 mm. Estes ensaios foram executados em uma máquina de ensaio universal DL - 10000 EMIC, com capacidade máxima de 100 kN e velocidade, conforme recomendação da norma, de 2 mm/min.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A confecção dos laminados foi condicionada pelo controle de espessura, com CPs de 4,00 mm, mas por se tratar de um processo de fabricação manual, mesmo seguindo este controle na laminação, é inevitável obter resultados sem variações de espessura, alcançando-se, assim amostras com uma média de $(3,88 \pm 0,25)$ mm.

A partir dos ensaios de tração uniaxial obteve-se, os gráficos tensão x deformação para 5 CPs de cada compósito, com um comprimento útil de ($L_0 = 127$ mm) e com o seu módulo de elasticidade (calculado para 50% da tensão de ruptura de cada CP), dispostos na Figura 1, gráficos (a), (b) e (c).

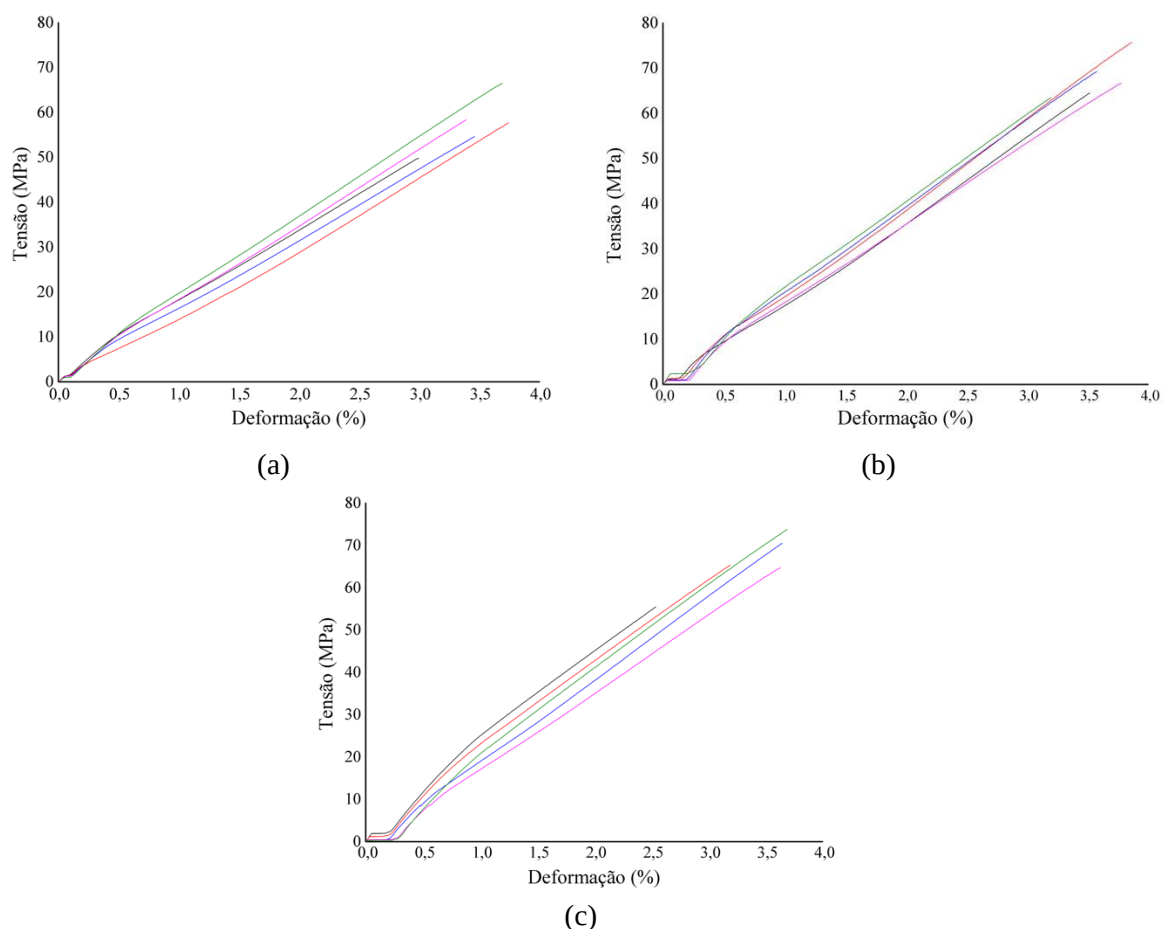


Figura 1: Gráficos tensão x deformação do ensaio de tração uniaxial dos CPs - (a) PRFV (b) PRFV+ G₅₃₋₉₀^{10%} e (c) PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}.

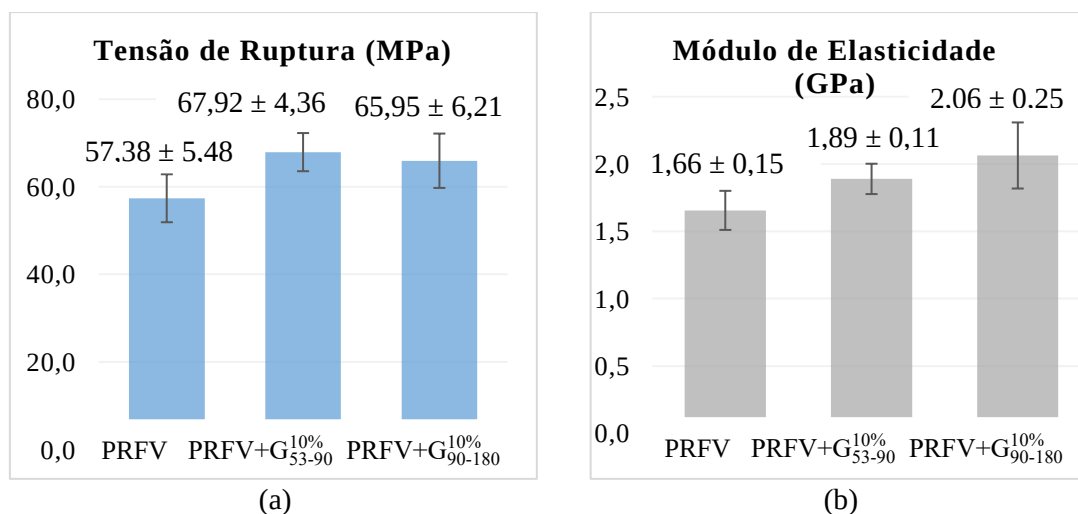
Ao analisar a Figura 1 (a), (b) e (c), que traz a relação entre tensão e deformação, é notório a predominância de um comportamento linear elástico, que segundo Tinô ⁽⁸⁾ é uma característica forte dos materiais frágeis assim como o PRFV (manta). Na literatura é possível encontrar autores como, Aquino, França e Brito ^(9,4,5), que também percebem esse comportamento característico linear elástico entre a tensão deformação para este tipo de material, propriedade

muito acentuada nos compósitos constituídos de resina poliéster reforçados com de fibra de vidro.

Ainda quanto a análise comportamental, Figura 1 (b) e (c), é possível visualizar uma desconformidade inicial, que apesar da operação de todos os testes ter se dado em um mesmo dia, utilizando a mesma máquina, com o mesmo operador, essa não linearidade é bem perceptível, quando comparada a Figura 1 (a). Este comportamento pode estar associado a adição do pó de granito, uma vez que ocorreu em todos os grupos de CPs com a adição desse particulado (PRFV+ G₅₃₋₉₀^{10%} e PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}).

A Figura 2 (a) e (b) ilustra o comparativo dos gráficos em barras, com seus respectivos desvios padrão, das principais propriedades mecânicas de cada tipo de laminado.

Figura 2: Comparativo das propriedades mecânicas: (a) Tensão e (b) Módulo de elasticidade.



Analisando as influências da tensão de ruptura e módulo de elasticidade nos materiais, com relação a adição do pó, o PRFV apresentou um menor comportamento mecânico, tanto na tensão de ruptura, com um valor médio de (57,38 ± 5,48) MPa, como também no módulo de elasticidade, com valores (1,66 ± 0,15) GPa, como é mostrado na Figura 2, gráficos (a) e (b).

Ao adicionar o pó de granito e comparar os compósitos PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} e PRFV+G₉₀₋₁₈₀^{10%}, quanto às suas tensões de ruptura, não é possível observar uma diferença significativa da influência do tamanho das partículas empregadas na fabricação do compósito, uma vez que quando analisa-se os valores médios juntos aos seus desvios padrão é perceptível que estes se enquadram dentro de um mesmo intervalo, apresentando os seguintes valores: PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} (67,92 ± 4,36) MPa e PRFV+G₉₀₋₁₈₀^{10%} (65,95 ± 6,21) MPa. Porém, houve um aumento de 18,37% do PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} em relação à resina pura.

Quanto ao módulo de elasticidade, foi visto que, com a adição do granito, o PRFV+G₉₀₋₁₈₀^{10%} apresentou um módulo médio 9% maior do que o PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%}, com um valor de (2,06 ± 0,25) GPa, já o PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} apresentou um valor de (1,89 ± 0,11) GPa.

A adição do pó de granito pode ocasionar ao compósito, uma alteração nas propriedades mecânicas ⁽¹⁰⁾, sendo nos polímeros, a rigidez, dureza, resistência e tenacidade, e também propriedades térmicas como expansão, condutividade ou decomposição térmica ⁽¹¹⁾.

Considerando os resultados apresentados por França ⁽⁴⁾, cujo laminado PRFV+G₅₃₋₉₀^{10%} apresentou módulo de elasticidade médio com um valor de (2,07 ± 0,76) GPa e com tensão média de 71,50 MPa, favorecendo o aumento de rigidez do compósito. Então, comparando-se estes resultados com os da Figura 2, observa-se que o compósito desenvolvido

por França apresentou discreta melhoria de rigidez. No entanto, vale destacar que na laminação, o autor utilizou 4 camadas de manta de fibra de vidro, sem controle de espessura, resultando em laminados com espessura de 5,16 mm após a fabricação, com aumento de 1,2 mm em relação ao compósito desenvolvido neste trabalho. Pelo exposto, observa-se que o controle de espessura empregado neste trabalho, apresenta-se promissor na relação custo-benefício.

No entanto, é relevante a realização de uma análise comparativa dos resultados de França⁽⁴⁾ com relação aos obtidos no presente estudo, uma vez que foi realizado o mesmo procedimento experimental, diferindo apenas na quantidade de camadas e controle de espessura. Tendo em vista que o controle de espessura adotado influenciou positivamente na obtenção de propriedades mecânicas mais satisfatórias, com a inserção do pó de granito a PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}.

CONCLUSÕES

Por meio do desenvolvimento deste estudo, precedido da realização do ensaio de tração, gráficos tensão x deformação, todos os materiais estudados apresentaram um comportamento predominantemente linear, característico de materiais frágeis como os compósitos PRFV, mas vale observar que, a desconformidade inicial apresentada nos gráficos com a adição do particulado pode estar associada a adição do pó de granito, já que todos os ensaios foram realizados nas mesmas condições.

Evidenciou-se a influência positiva do controle de espessura, em compósitos poliméricos com reforços particulados (pó de granito) e manta de fibra de vidro. Obtendo-se, com a inserção do pó de granito a PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}, um módulo de elasticidade de $(2,06 \pm 0,25)$ GPa, uma tensão média de $(65,95 \pm 6,21)$ MPa revelando que, esse controle utilizando 3 camadas da manta de fibra de vidro (espessura de 3,83 mm), influencia positivamente nas propriedades mecânicas apresentadas, mostrando assim que ao manter a espessura a adição do pó de granito agrega benefícios ao material.

A partir da vigente pesquisa, é possível o aprimoramento do emprego de resíduos oriundos das pedreiras na construção de novos materiais, como o PRFV+ G₉₀₋₁₈₀^{10%}, influenciando positivamente nas propriedades mecânicas apresentadas, através do aumento de rigidez, mostrado assim que, ao controlar a espessura, a adição do pó de granito pode agregar benefícios ao material.

REFERÊNCIAS

1. ALENCAR, K. C.; CARVALHO, P. R. C.; ALMEIDA, L. R.; BARBOSA, K. S. L.; PRAZERES, E. R.; BANNA, W. R. E; COSTA, D. S.; COSTA, D. S. Potential applicability of polymeric composites with mineral waste and civil construction in internal coatings. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 9, p.73343-73353, 2020.
2. COSTA, D. S. Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais. 2016, 229 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2016.
3. NASCIMENTO, E. R. M. Propriedades mecânicas à tração em compósito de matriz polimérica com cargas minerais. 2015, 73p. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas-RN, 2015.
4. FRANÇA, R. J. M. Propriedades mecânicas à tração: estudo da influência na inserção de pó de pedra em PRFV. 2019, 70p. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas-RN, 2019.

5. BRITO, M. T. O. Influência nas propriedades mecânicas do PRFV com adição de pó de calcário. 2020. 74p. Monografia (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas-RN, 2020.
6. DANIEL, I. M.; ISHAI, O. Engineering mechanics of composite materials. 2 ed. New York. Oxford University Press, 2006. Development, 9(8). DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5640.
7. ASTM D 3039. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2014.
8. TINÔ, S. R. L. Descontinuidade na seção transversal em laminados compósitos poliméricos: Efeitos e propriedades. 2010, 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2010.
9. AQUINO, E. M. F.; SARMENTO, L. P. S.; OLIVEIRA, W.; SILVA, R. V.; “Moisture effect on degradation of jute/glass hybrid composites, Journal of Reinforced Plastics and Composite, Vol. 26, N°2, 2007.
10. SILVA, R. V.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANI, J. R. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. Composites Science Technology, Barking, 2006.
11. JÚNIOR, L. A. Compósito polimérico híbrido constituído de fibras curtas de vidro e partículas de sílica. 71p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São João, Del-Rei, 2015.

MECHANICAL EVALUATION OF GRANITE POWDER INSERTION IN PRFV WITH THICKNESS CONTROL

ABSTRACT

The improper disposal of industrial waste has been significantly increasing to the environmental impact. In this case, composite materials combination of different materials can be an alternative for the use of these wastes. Thus, there is a need for studies of the mechanical behavior of these materials and their applications. This research brings an analysis of pure PRFV and with addition of mineral filler (granite powder) and different granulometries in the formation of these laminates. Purposing a better development of the granite powder addition in the polymeric composites with three layers of fiberglass blanket, with thickness control, and better analysis of the influence on its mechanical properties, this studies used uniaxial tensile test, validated with ASTM D 3039 (2014) norm. The results revealed that the use of the residues in the construction of new materials brought to composite with granulation between 90 - 180 μm positive influences in its mechanical properties. It was observed in this composite an 24,10% increasing in its stiffness compared to PRFV, ensure that value of $2.06 \pm 0.25 \text{ GPa}$, shown that, while maintaining the same thickness, the addition of granite powder can add benefits to the composite.

Keywords: Composite. Granite powder. Mechanical behavior. Residue.