

## **DESEMPENHO DE COMPÓSITOS POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE CURAUÁ SOB IMPACTO BALÍSTICO 7,62 MM COMO BLINDAGEM MONOLÍTICA**

F. de O. Braga<sup>1</sup>, L. T. Bolzan, E.P. LIMA JR., S. N. Monteiro

Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais (SE/4), Instituto Militar de Engenharia, Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>1</sup>fabio\_obraga@yahoo.com.br

### **RESUMO**

Sistemas de blindagem contra munição de alta energia cinética, como a 7,62 mm, devem apresentar alto desempenho e baixo peso, características consideradas conflitantes. Tecidos de fibras sintéticas como Kevlar® são os favoritos para a camada posterior a blindagens cerâmicas em sistemas multicamadas, devido a aspectos econômicos e ambientais. Recentemente, compósitos reforçados com fibras de curauá têm sido considerados como segunda camada do sistema multicamada, devido à sua alta resistência e baixo custo. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de compósitos poliéster-curauá submetidos ao impacto com munição 7,62 mm. Compósitos com 0, 10, 20 e 30%vol. de fibras foram fabricados e testados para avaliar a energia absorvida pela blindagem, comparando os resultados com amostras de laminados de Kevlar®, utilizando as estatísticas de análise de variância e teste de Tukey. Entre os materiais testados, os compósitos com 30% de fibras foram considerados a melhor alternativa ao Kevlar®.

Palavras-chave: compósitos, fibras naturais, fibras de curauá, blindagem balística.

### **INTRODUÇÃO**

À medida que a tecnologia de armas e munições progride, maiores se tornam os desafios para os pesquisadores da área de blindagens balísticas. Materiais de alto desempenho são necessários, mas a busca pela melhor performance deve levar

em conta também a mobilidade que os combatentes e os sistemas de defesa devem possuir<sup>(1)</sup>.

Atualmente, tecidos de fibras sintéticas como a aramida (Kevlar®) e o polietileno de ultra-alto peso molecular (Dyneema®) têm sido os preferidos para proteção contra munições de armas curtas, e para integrar sistemas de proteção contra armas longas, como o 7,62 mm<sup>(1-3)</sup>. No entanto, em virtude de apelos econômicos e ambientais, diversos outros materiais têm sido testados.

Neste cenário, destacam-se os compósitos reforçados com fibras naturais, que têm demonstrado bom desempenho balístico, ao integrarem os chamados sistemas de blindagem multicamada, que utilizam diferentes materiais em sua estrutura<sup>(3-4)</sup>. Entre estes, destacam-se os compósitos poliméricos reforçados com fibras de curauá, por sua alta resistência e rigidez, baixo peso e alta tenacidade dos seus compósitos<sup>(3)</sup>.

Diversos métodos são utilizados para avaliar o comportamento balístico de um material. Neste trabalho, comparou-se os materiais por meio da medida da energia absorvida do projétil<sup>(2,3)</sup>, permitindo uma avaliação individual rápida de materiais de naturezas distintas. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho individual de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de curauá, quando submetidos ao impacto balístico com munição 7,62 mm.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A Tab. 1 mostra os materiais testados neste trabalho e suas respectivas designações. Além dos compósitos reforçados com fibras de curauá, foram testadas amostras laminadas de aramida (Kevlar®).

Em uma matriz de prensagem foram posicionadas as fibras de curauá (fornecidas por Pematec Triangel), previamente secas em estufa por 24h a 60°C, e a resina poliéster com o endurecedor (adquiridos de Resinpoxy) na proporção de 1% em peso de endurecedor. Buscou-se manter as fibras alinhadas em uma única direção. A mistura foi mantida por 24h sob pressão de 3 MPa, a 25°C, até a cura.

O tecido de aramida utilizado neste trabalho, de trama S745 e gramatura 460 g/m<sup>2</sup>, foi adquirido da empresa LFJ Blindagens (Conquext), sob a forma de painéis de 8 camadas impregnadas com borracha cloroprênica (modelo MENEOKV08). Em

cada corpo de prova balístico, os painéis MENEOKV08 foram unidos com adesivo à base de poliuretano, com a espessura final próxima a 10 mm.

Tab. 1. Tipo e designação dos materiais examinados neste trabalho.

<b>Tipo</b>	<b>Designação</b>
Poliéster	P-0%C
Poliéster reforçado com 10%vol. de fibras de curauá	P-10%C
Poliéster reforçado com 20%vol. de fibras de curauá	P-20%C
Poliéster reforçado com 30%vol. de fibras de curauá	P-30%C
Laminado com 16 camadas de aramida	Aramida

Os materiais foram submetidos ao impacto balístico. O dispositivo de disparo B290 (fabricado pela HPI – *High Pressure Instrumentation*), disponível no Centro de Avaliações do Exército (CAEx), consistiu de um provete com mira à laser (Fig. 1a). Para a medição de velocidade foi empregado o radar *doppler* SL-520P (fabricado pela Weibel). Foi utilizada munição 7,62x51 mm M1, com massa de 9,7 g. O material a ser testado (Fig. 1b) foi posicionado a 15 m do provete, conforme previsto na norma ABNT 15000<sup>(5)</sup>. O disparo foi realizado na horizontal ( $\theta=0^\circ$ ).

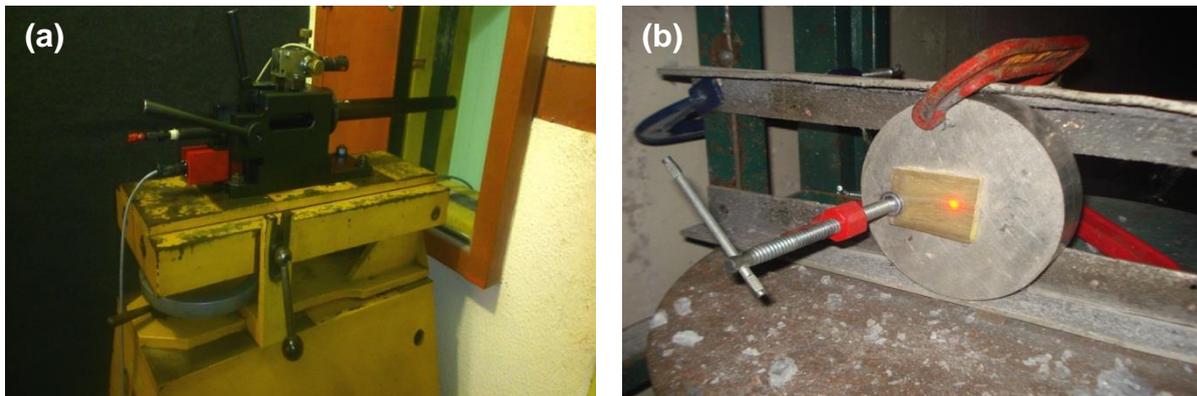


Fig. 1. Arranjo experimental do ensaio balístico: (a) provete com mira à laser; (b) corpo-de-prova montado em frente do bloco de alumínio com orifício central.

A variação da energia cinética do projétil foi relacionada à energia absorvida pela blindagem ( $E_{abs}$ ), utilizada para comparação entre os materiais, sendo calculada pela Eq. (A).

$$E_{abs} = m(v_i^2 - v_r^2)/2 \quad (A)$$

Onde: m = massa do projétil; v<sub>i</sub> = velocidade de impacto do projétil na blindagem;  
v<sub>r</sub> = velocidade residual do projétil após o impacto.

Nove disparos foram realizados para cada material, sendo descartados o maior e o menor valor de velocidade de impacto. Os valores de energia absorvida foram tratados estatisticamente com a análise de variância (Anova), seguida pela comparação das médias pelo teste de Tukey (HSD, do inglês *honestly significant difference*), calculando-se a diferença mínima de significância (d.m.s.) pela Eq. (B)<sup>(6)</sup>.

$$d.m.s = q\sqrt{QMR/r} \quad (B)$$

Onde: q = constante tabelada para 5% de significância; QMR = quadrado médio do resíduo da análise de variância; r é número de repetições de cada tratamento (r=7).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 2 mostra os valores de energia absorvida pelos diferentes materiais. Levando-se em conta somente as médias, em princípio, verifica-se que o tipo de material (tratamento) influencia na energia absorvida. Entretanto, a confirmação necessita de tratamento estatístico adicional (Anova e HSD).

Tab. 2. Energia absorvida pelo material mediante o impacto balístico.

	Material				
	P-0%C	P-10%C	P-20%C	P-30%C	Aramida
Energia absorvida (J)	225	120	127	152	194
	230	150	147	186	201
	260	156	156	194	221
	267	190	163	197	226
	268	224	164	200	228
	292	290	186	218	229
	295	293	199	230	239
<b>Energia média (J)</b>	<b>262 ±27</b>	<b>203 ±69</b>	<b>163 ±24</b>	<b>197 ±25</b>	<b>220 ±17</b>

A Tab. 3 apresenta a análise de variância dos dados, sendo apresentados os graus de liberdade (GL), as somas de quadrados (SQ), os quadrados médios (QM), o F de Snedecor e o p-valor. É importante mencionar que antes da Anova foi realizado teste de normalidade de Shapiro-Wilk, sendo que todas as amostras têm distribuição normal.

Tab. 3. Análise de variância dos dados.

<b>Causas de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamento	4	36893	9223	6,6917	0,0006
Resíduo	30	41349	1378		
Total	34	78242			

Comparando-se o valor de F com o valor crítico tabelado ( $F_c=2,69$ ), rejeita-se a hipótese de que as médias dos tratamentos são iguais com 95% de confiança, uma vez que  $F > F_c$ . Em outras palavras, foi confirmado que o tipo de material utilizado como alvo influencia na energia absorvida no impacto do projétil.

Após a Anova, é possível fazer a comparação das médias individuais pelo teste HSD. O valor de q para 5 tratamentos e 30 graus de liberdade do resíduo é 4,1. Desta forma a d.m.s. foi calculada pela Eq. (B) como 57,5 J. A Tab. 4 mostra a comparação entre as médias pelo teste HSD. Em negrito encontram-se as diferenças entre médias maiores que d.m.s.

Tab. 4. Comparação entre as médias pelo teste de Tukey (HSD).

<b>Material</b>	<b>P-0%C</b>	<b>P-10%C</b>	<b>P-20%C</b>	<b>P-30%C</b>	<b>Aramida</b>
<b>P-0%C</b>	0	<b>59</b>	<b>99</b>	<b>65</b>	42
<b>P-10%C</b>	<b>59</b>	0	40	6	17
<b>P-20%C</b>	<b>99</b>	40	0	34	57
<b>P-30%C</b>	<b>65</b>	6	34	0	23
<b>Aramida</b>	42	17	57	23	0

Pelo exame das Tab. 2 e 4, o material P-0%C foi o de melhor desempenho devido à sua característica frágil, que dissipa energia na criação de superfícies de fratura, como ocorre na fragmentação dos cerâmicos<sup>(2)</sup>. O material P-0%C foi totalmente fragmentado, como pode ser observado na Fig. 2a. Apesar da maior absorção de energia, a fragmentação é problema no caso de múltiplos impactos.

Por outro lado, o teste HSD confirmou que os compósitos (P-10%C, P-20%C e P-30%C) tiveram desempenho inferior (menor absorção de energia) em relação à resina (P-0%C). Isto se deve, provavelmente, à mudança da natureza frágil para um material de maior coesão, com processo de fratura mais complexo, apesar de menor absorção de energia.

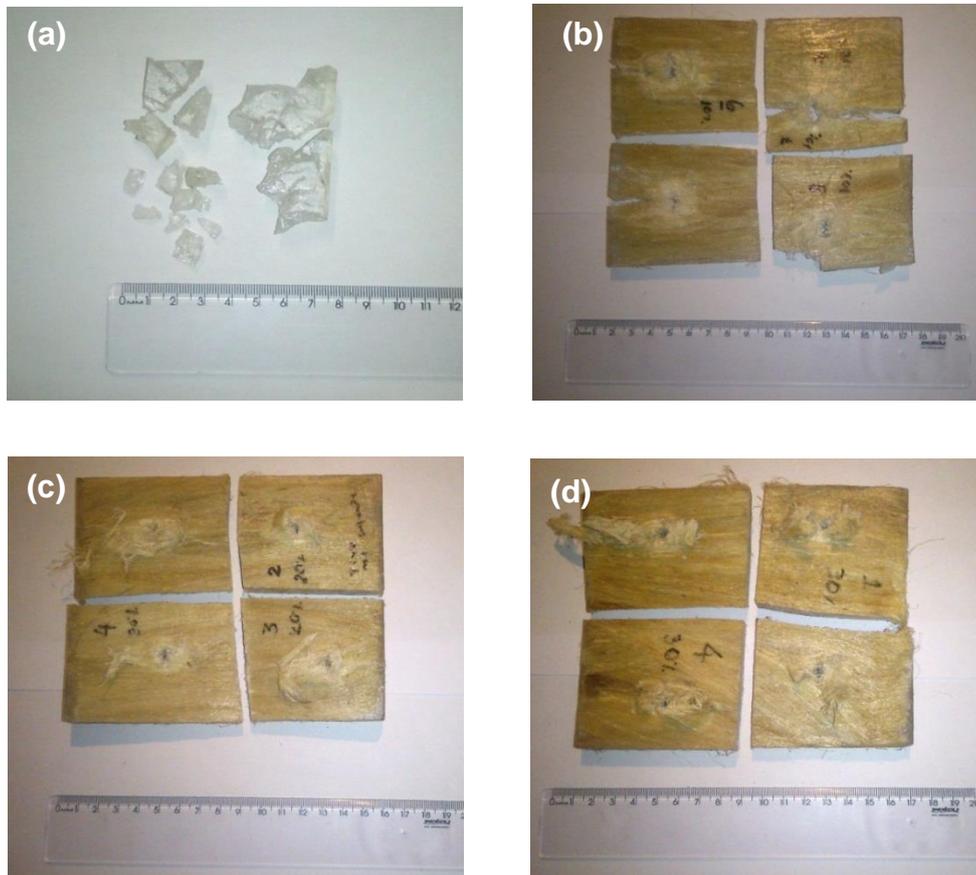


Fig. 2. Corpos de prova submetidos ao impacto balístico: (a) P-0%C; (b) P-10%C; (c) P-20%C; (d) P-30%C.

A Fig. 2 mostra o aspecto dos corpos-de-prova após os ensaios. Entre os compósitos, o P-30%C foi o de melhor resultado e apresentou absorção de energia estatisticamente semelhante a da Aramida. Apesar de ter absorvido menos energia que o P-0%C, esta quantidade é estatisticamente similar à do compósito P-10%C. O fato de manter a integridade após o impacto balístico é de grande importância para integrar sistemas de blindagem multicamada para munição 7,62 mm, principalmente na segunda camada com a finalidade de absorver os fragmentos de um material cerâmico frontal<sup>(2-3)</sup>. Em relação ao P-20%C, o aumento da energia absorvida pelo P-30%C não foi significativo, e ambos não foram fragmentados. Entretanto, com o

aumento do teor de curauá, o custo do compósito diminui e há um leve aumento na energia absorvida, sendo vantajosa sua aplicação. Considera-se, portanto, que o compósito P-30%C tem boas propriedades para integrar sistemas de blindagem multicamada, além das questões peso, custo e ambientais citadas.

## CONCLUSÕES

Os compósitos reforçados por fibras de curauá tem potencial para substituir os tecidos de fibras sintéticas em sistemas de blindagem para proteção pessoal. A proporção de fibras que obteve um conjunto de boa absorção de energia e boa coesão após o impacto foi a de 30% vol., sendo estes compósitos adequados para múltiplos impactos. Assim, considera-se que este material tem propriedades aceitáveis para integrar um sistema de blindagem multicamada, com a vantagem de ser leve, de baixo custo, de ampla disponibilidade e ambientalmente correto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem o auxílio das agências brasileiras CAPES e CNPq, e ao CAEx, por viabilizar os ensaios balísticos.

## REFERÊNCIAS

1. WANG, L.; KANESALINGAM, S.; NAYAK, R.; PADHYE, R. Recent trends in ballistic protection. **Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST)**, v. 3. p. 37-47, 2014.
2. MONTEIRO, S.N.; LIMA JR., E.P.; LOURO, L.H.L.; DA SILVA, L.C.; DRELICH, J.W. Unlocking function of aramid fibers in multilayered ballistic armor. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 46A, p. 37-40, 2014.
3. MONTEIRO, S.N.; LOURO, L.H.L.; TRINDADE, W.; ELIAS, C.N.; FERREIRA, C.L.; LIMA, E.S.; WEBER, R.P.; SUAREZ, J.C.M.; FIGUEIREDO, A.B.S.; PINHEIRO, W.A.; DA SILVA, L.C.; LIMA JR., E.P. Natural Curaua Fiber-Reinforced Composites in Multilayered Ballistic Armor. **Metallurgical and Materials Transactions A**. v. 46, n. 10, p. 4567-4577, 2015.

4. WAMBUA, P.; VANGRIMDE, B.; LOMOV, S.; VERPOEST, I. The response of natural fibre composites to ballistic impact by fragment simulating projectiles. **Composite Structures**, Vol. 77, p. 232–240, 2007.
5. ABNT NBR 15000. **Blindagens para impactos balísticos - classificação e critérios de avaliação**. 2005.
6. Vieira S. **Análise de Variância (Anova)**. São Paulo: Ed. Atlas. 2006.

#### TITLE

### PERFORMANCE OF NATURAL CURAUA FIBER REINFORCED POLYESTER UNDER 7.62 MM BULLET IMPACT AS A STAND-ALONE BALLISTIC ARMOR

#### ABSTRACT

Armor systems against ammunition as 7.62 mm must show both high performance and low weight, which can be considered conflicting characteristics. Nowadays, synthetic fibers fabrics as Kevlar™ are the favorite for ceramic armor backing, however, due to economic and environmental issues, several materials are being tested as substitutes. Recently, curaua fiber reinforced composites have been considered, due to its high strength and low cost. Thus, the objective of this work is to evaluate the performance of curaua-polyester composites subjected to 7.62 mm ammunition impact. 0, 10, 20 and 30 vol.% composites were prepared and ballistic tested to evaluate the projectile's absorbed energy, comparing the results with Kevlar™, using analysis of variance and Tukey's test statistics. Among the tested materials, 30% composites were considered the best alternative for Kevlar™.

Keywords: composites, natural fibers, curaua fibers, ballistic armor.