

Análise da deformação de plastilina em sistemas de blindagem multicamada tendo como camada intermediária compósito de matriz poliéster reforçada com manta de juta

Foluke Salgado de Assis, Sergio Neves Monteiro, Letícia Purgato Lins, Marcus Vinícius Oliveira de Medeiros, Natan Shalom Frutuoso de Oliveira, Pedro Martins de Souza, Renan Augusto Arboleda

Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais –
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270,
Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

RESUMO: O presente trabalho apresenta os resultados obtidos através de ensaios balísticos em sistemas de blindagem multicamada (SBM). Os ensaios foram realizados utilizando munição de calibre 7,62 x 51 mm, com velocidade superior a 800m/s, atendendo às especificações da norma americana NIJ 0101.06. O sistema de blindagem multicamada fabricado é composto de três camadas: a primeira, frontal, constitui-se de uma pastilha hexagonal cerâmica (Al₂O₃ dopada com Nb₂O₅), a segunda, de um compósito de matriz poliéster reforçada com manta de juta e a terceira de uma placa de alumínio 5052 H34. A substituição, na segunda camada, da fibra de aramida por fibras naturais é altamente útil, pois torna o custo de produção muito mais baixo, enquanto oferece o mesmo nível de proteção para o SBM. Os resultados alcançados foram satisfatórios, visto que a profundidade de indentação na plastilina atendeu à norma NIJ 0101.06 e, por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), foi verificada a captura dos fragmentos da camada cerâmica pela manta de juta através do mecanismo de incrustação mecânica.

PALAVRAS-CHAVE: SBM, manta de juta, ensaio balístico.

ABSTRACT: The current paper brings forth the results obtained through ballistic tests on Multilayered Armor Systems (MAS). The tests were taken utilizing 7.62 x 51 mm caliber ammunition with bullet velocity faster than 800m/s, according to the specifications of American standard NIJ 0101.06. The MAS produced consists of 3 layers: the first, frontal, a hexagonal ceramic chip (Al₂O₃ doped with Nb₂O₅), the second, a polyester matrix composite reinforced with jute non-woven fabric and the third an aluminum (5052 H34) plate. The replacement, in the second layer, of the aramid fiber by natural fibers is highly useful, for it steeply lowers the production cost while offers the same protection level for the MAS. The reached results were satisfactory, as the depth of indentation in the clay witness attended the NIJ 0101.06 standard and through scanning electron microscope (SEM) the capture of the ceramic fragments by the jute non-woven fabric (mechanical incrustation mechanism) was identified.

KEYWORDS: MAS, jute non-woven fabric, ballistic test.

1. INTRODUÇÃO

Com a maior facilidade de acesso atual a armamento pesado por parte de criminosos, como nas favelas do Rio de Janeiro e em todo o Brasil, e de terroristas e guerrilheiros no mundo inteiro, além do desenvolvimento de novos armamentos, o mercado de defesa é impulsionado a desenvolver proteção adequada para as forças de combate (1).

Visando à proteção individual, os sistemas de blindagem multicamada (SBM) foram desenvolvidos como uma solução leve e efetiva para não somente absorver a energia do impacto balístico, como também impedir a penetração de fragmentos no usuário. Um SBM em geral é composto de uma camada inicial de cerâmica, uma segunda de fibra de aramida e uma terceira e última de alumínio (2).

A primeira camada, de cerâmica, tem por objetivo dissipar a maior parte da energia ao deformar, erodir e fragmentar o projétil, o que é possível devido a: sua elevada resistência a compressão, baixa resistência a tração e elevada dureza (2,3). Na segunda camada, que tem como função principal absorver a energia dos fragmentos balísticos gerados pela primeira camada, são usados materiais com baixa densidade e elevada resistência à tração, como Kevlar® (fibra de aramida) ou Dyneema® (polietileno de peso molecular ultra-alto). Na terceira camada, utiliza-se uma placa metálica para assegurar que os fragmentos não penetrem a blindagem, em geral de alumínio (1,2).

Segundo o padrão da norma americana NIJ 0101.06 (4), por resistir ao impacto de munição calibre 7,62 x 51 mm com velocidade inicial de disparo maior que 800 m/s, o SBM tem nível de proteção III.

A utilização de materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras naturais em lugar das fibras sintéticas (de Kevlar® ou Dyneema®) na segunda camada é interessante porque são alcançados um custo muito mais baixo de produção, maior leveza e desempenho equivalente (5,6).

Além disso, as fibras naturais são recursos renováveis, disponíveis em grande escala, biodegradáveis, não tóxicas, e apresentam baixa densidade, propriedades mecânicas satisfatórias e menor abrasividade nos equipamentos produzidos, aumentando à vantagem sobre as fibras sintéticas (7,8).

O presente trabalho busca analisar o desempenho balístico do SBM produzido com a segunda camada constituída de compósito de matriz poliéster reforçada com 30% em volume de manta de juta, através de ensaios de deformação em plastilina e fazer a comparação com os tecidos de aramida e outros SBM reforçados com fibras naturais. Se a penetração na plastilina for igual ou menor que 44 mm, o SBM é considerado eficiente (4).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada a preparação da mistura de pós de Alumina (700g, 94,5%p), de Nióbia (29,15g, 3,94%p) e o ligante PEG líquido (11,3g, 1,53%p) e em seguida foram misturados em um moinho com bolas de alumina, durante 8 horas. Após a moagem, a mistura foi colocada em estufa para secagem à temperatura de 60°C, durante 48 horas. Com o material seco, foi realizado o processo de prensagem, no qual o pó cerâmico peneirado foi prensado em uma matriz hexagonal. Uma carga de 12 toneladas, equivalente a 60 MPa foi aplicada, com o auxílio de uma prensa hidráulica. Após

isso as pastilhas cerâmicas, chamadas corpos verdes, foram sinterizados em forno chegando ao corpo cerâmico desejado.

A fabricação dos compósitos, reforçados com fibra de juta na configuração de manta, foi feita na proporção de 30% em volume. A matriz utilizada para a prensagem das placas do compósito tem dimensões 12,8 cm x 15 cm x 1 cm, obtendo volume de 57,6 cm³ para a fração de 30%. De acordo com a literatura (8), a densidade utilizada para a fibra de juta foi de 1,3 g/cm³, logo a quantidade de massa de fibras utilizadas foi em torno de 74,8g. Para a resina poliéster em estado líquido foi adicionado, na proporção de 0,5% em peso, o catalisador peróxido metil-etil-cetona e foi considerada perda de resina na etapa de prensagem. Após o acondicionamento dos componentes no interior da matriz, o conjunto foi prensado, utilizando a prensa SKAY de 15 toneladas, o qual foi deixado sob pressão para curar à temperatura ambiente por um período de 24 horas.

A preparação dos corpos de prova da blindagem multicamada foi realizada por meio da colagem das camadas de alumínio 5052 H34 (HRB: 29), do compósito poliéster-juta e da cerâmica, utilizando cola de cura rápida ULTRAFLEX.

Os testes balísticos foram realizados no Centro de Avaliações do Exército. Para a realização dos testes balísticos, todos os ensaios obedeceram à norma NIJ 0101.06 (4) e ABNT NBR 15000 (9).

Após o ensaio balístico, com o objetivo de identificar os mecanismos de absorção de energia dos materiais da blindagem multicamada foi realizada avaliação microscópica dos fragmentos com o auxílio do MEV FEI Quanta FEG 250, utilizando elétrons secundários.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar o resultado do disparo de munição de calibre 7,62 x 51 mm no SBM, percebeu-se que o sistema foi parcialmente perfurado, mas ainda assim atendeu ao limite de indentação da norma NIJ 0101.06 (4). As indentações medidas no ensaio de deformação na plastilina foram aplicadas à Estatística de Weibull. Os parâmetros de Weibull na Tabela 1 estão acompanhados dos resultados estatísticos.

Tabela 1: Parâmetros de Weibull para blindagem multicamada com poliéster-juta

Blindagem Multicamada	Manta-30%
Indentação Característica (θ)	28,64
Indentação Média (mm)	25,67

A profundidade média da indentação na plastilina foi de 25,67 milímetros, estando adequado ao que é estipulado pela norma NIJ 0101.06 (4), menor que 44 milímetros. Na Tabela 2 são comparados os valores do ensaio de deformação na plastilina de diversos materiais.

Tabela 2: Média dos valores obtidos nos ensaios balísticos

Camada Intermediária	Poliéster-Juta (30%)	Epóxi-Juta (30%)	Aramida
Espessura Média (mm)	11,99	15	10
ρ Média (g/cm ³)	1,16	1,16	1,4
Indentação Média (mm)	25,67	17,51	22,67

A tabela acima ilustra como o sistema de blindagem multicamada de poliéster-juta (manta) se comporta em relação

aos demais sistemas apresentados. O valor da indentação média da blindagem de compósito de poliéster-juta foi de 25,67 mm que é 46,6% maior que o apresentado pelo compósito de epóxi-juta. A diferença pode ser explicada pela menor espessura média da camada de poliéster-juta e maior velocidade de impacto média do projétil.

As imagens obtidas após a realização do ensaio balístico através de análise no MEV estão mostradas na figura 1.

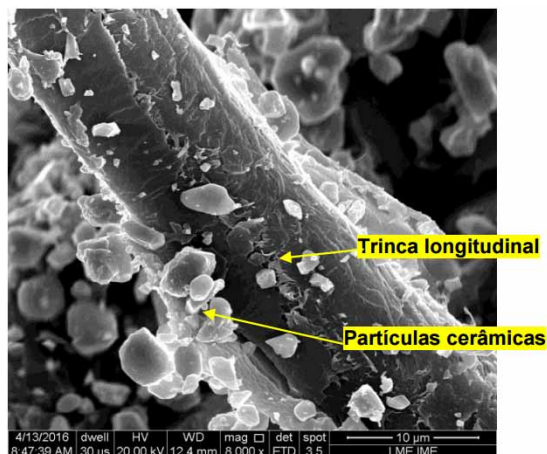


Fig. 1: Propagação de trincas na superfície da fibra de juta (8000x).

Observa-se que o compósito poliéster-juta está incrustado de partículas cerâmicas, indicando absorção de energia cinética. Observa-se que devido à atração eletrostática e às forças que atuam na superfície do material, as partículas se mantêm incrustadas. É possível observar, ainda, trincas no compósito, também indicativo de dissipação de energia.

4. CONCLUSÃO

Usando o compósito de matriz poliéster reforçada com manta de juta como a camada intermediária de um sistema de blindagem multicamada, foi obtido um resultado positivo quando tal sistema sofre um impacto balístico. Isto significa que a blindagem sofreu uma indentação média menor que 44 milímetros, que é o exigido pela norma internacional NIJ 0101.06 (4). Apesar da indentação da manta de juta ter sido maior que a da aramida (25,67 e 22,67mm, respectivamente) os sistemas que utilizam juta são mais vantajosos na prática, pois a manta de juta possui densidade e custo menor. Logo, o uso da manta de juta como camada intermediária em uma blindagem multicamada proporciona uma maior mobilidade ao usuário e redução de custos para empresa ou governo que produza tais blindagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [11] L. Wang, S. Kanesalingam, R. Nayak, R. Padhye, "Recent trends in Ballistic Protection", Textiles and Light Industrial Science and Technology (TLIST), vol. 3, 2014, pgs 37-47.
- [12] S. N. Monteiro, E. P. Lima Jr, L. H. L. Louro, L. C. Silva, J. W. Drelich, "Unlocking function of aramida fibers in multilayered ballistic armor", Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 46, 2015, pgs 37-40.
- [13] E. Medvedovski, "Ballistic Performance of Armour Ceramics: Influence of Design and Structure. Part 1", Ceramics International, vol. 36, 2010, pgs 2103-2115.
- [14] M. B. Mukasey, J. L. Sedgwick, D. W. Hagy, "Ballistic Resistance of Body Armor, NIJ Standard-0101.06.", U.S. Department of Justice, 2008.
- [15] B. M. Araújo. "Avaliação do Comportamento Balístico de Blin-

dagem Multicamada com Compósito de Epóxi Reforçado com Fibra de Sisal”, Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia, 2015.

- [16] L. C. da Silva, “Comportamento Balístico de Compósitos Epóxi–Fibra Natural em Blindagem Multicamada”, Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia, 2014.
- [17] K. G. Satyanarayana, J. L. Guimarães, F. Wypych, “Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, mor-

phology, properties and applications”, *Composites: Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 38, 2007, pgs 1694-1709.

- [18] S. N. Monteiro, F. P. D. Lopes, A. P. B. Barbosa, A. B. Bevitori, I. L. A. da Silva, L. L. da Costa, “Natural Lignocellulosic Fibers as Engineering Materials – An Overview”, *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 42, 2011, pgs 2963-2974.
- [19] NBR ABNT, “15000. Blindagens para impactos balísticos - Classificação e critérios de avaliação”, 2005.