

ANÁLISE BALÍSTICA DE COMPÓSITOS DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM TECIDO DE RAMI SOB CONDIÇÕES DE VÁCUO *

Janine Feitosa de Deus¹
Rubén Jesus Sanchez Rodriguez²
Sérgio Neves Monteiro³

Resumo

Compósitos ambientalmente corretos, fabricados a partir de fibras naturais lignocelulósicas (FNL), estão entre os mais investigados e aplicados atualmente. Dentre as FNL, destacam-se as fibras de Rami (*Boehmeria nivea*), que surgem como alternativa aos tecidos de fibras sintéticas em sistemas de blindagens multicamadas, para uso em coletes de proteção balística, por serem leves, de baixo custo e ambientalmente corretos. No presente trabalho, investigou-se o comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi reforçados com tecido de rami, através de testes balísticos. Compósitos laminados, foram fabricados em um molde metálico, sob condições de vácuo. Os corpos de prova fraturados foram analisados em MEV e os resultados foram avaliados visando algumas propriedades balísticas com a incorporação do tecido de rami, visando sua posterior aplicação em coletes à prova de bala.

Palavras-chave: Compósitos; Tecido de Rami; Fibras Naturais Lignocelulósicas; Epóxi

BALISTIC ANALYSIS OF EPOXY MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH RAMI FABRIC UNDER VACUUM CONDITIONS

Abstract

Environmentally correct composites, made from natural lignocellulosic fibers (FNL), are among the most researched and applied today. Among the FNLs, we highlight the Rami fibers (*Boehmeria nivea*), which arise as an alternative to synthetic fiber fabrics in multilayer armor systems, for use in ballistic protection vests, because they are lightweight, low cost and environmentally correct. In the present work, the mechanical behavior of epoxy matrix composites reinforced with ramie fabric was investigated through ballistic tests. Laminated composites were fabricated in a metal mold under vacuum conditions. The fractured specimens were analyzed in SEM and the results were evaluated aiming at some ballistic properties with the incorporation of ramie fabric, aiming at their subsequent application in ballistic armor.

Keywords: Composites; Rami fabric; Natural Lignocellulosic Fibers; Epoxy.

¹ Doutorando, Laboratório de Materiais Avançados – LAMAV, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, CCT/UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, 28015-620, Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil.

² PhD, Professor Titular, LAMAV – CCT/UENF.

³ PhD, Professor Titular, Instituto Militar de Engenharia – IME.

⁴

1 INTRODUÇÃO

Compósitos ambientalmente corretos, fabricados a partir de fibras naturais lignocelulósicas (FNL), estão entre os mais investigados e aplicados atualmente. Tendo em vista as boas propriedades das FNL, bem como o potencial brasileiro para sua produção, é de grande interesse a pesquisa de novas aplicações para estas fibras, especialmente aplicações de alta tecnologia, em produtos de mais alto valor agregado que beneficiem as comunidades produtoras.

Dentre as FNL, destacam-se as fibras de Rami (*Boehmeria nivea*), conhecido comercialmente como grama da China, é originário do sudeste asiático e produz fibras que podem ser extraídas do floema da planta. É comumente utilizada como forrageira pela pecuária e empregada pela indústria têxtil na fabricação de tecidos utilizados em diversos fins, como roupas, decorações de interiores e até mesmo velame de paraquedas [1, 2]. O tecido de rami surge como alternativa aos tecidos de fibras sintéticas em sistemas de blindagens multicamadas, para uso em coletes de proteção balística, por serem leves, de baixo custo e ambientalmente corretos. Tecidos de fibras sintéticas de alto desempenho, como a aramida (Kevlar® e Twaron®) e o polietileno de ultra alto peso molecular (Spectra® e Dyneema®), têm sido utilizados na segunda camada da blindagem [3]. No entanto estas fibras são caras, não-renováveis e tem vida útil relativamente curta. Neste cenário, os compósitos reforçados com fibras naturais lignocelulósicas (FNL) surgem como alternativa aos tecidos de fibras sintéticas em sistemas de blindagens multicamadas, para uso em coletes de proteção balística, por serem leves, de baixo custo e ambientalmente corretos [4]. Estes materiais podem apresentar boa eficiência de proteção balística, e nos últimos anos, há um crescente interesse dos pesquisadores em desenvolver as propriedades destes compósitos para a presente aplicação [5,6,7,8,9].

No presente trabalho, foi investigado o comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi reforçados com tecido de rami, através de testes balísticos. Compósitos laminados, foram fabricados em um molde metálico, sob condições de vácuo. A superfície de fratura dos corpos de prova foi caracterizada por microscopia eletrônica de varredura, MEV.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A resina utilizada foi a epóxi (Dow Chemical), comercializada pela empresa Resinpoxy, localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Esta resina é do tipo éter diglicidílico do bisfenol A (DGEBA), endurecida com trietileno tetramina (TETA). O endurecedor foi adicionado à resina na proporção de 13% em peso, pois esta é a proporção estequiométrica que equivale à abertura de todos os anéis epóxi por ligação com as moléculas de amina. O tecido de rami utilizado neste trabalho foi importado da china pelo IME (através do professor Sérgio Neves Monteiro) do fornecedor *Rose Natural Healthy Items Wholesale*, a qual comprou o tecido de rami de um fabricante localizado na cidade chinesa de Guangzhou (figura 1).



Figura 1 – (a) Tecido de Rami, (b) Molde metálico à vácuo, (c) Compósito laminado.

O tecido de rami foi seco em estufa a 60°C por 24h para retirada da umidade, antes de sua utilização.

Os compósitos laminados foram formulados, manualmente, alternando-se as camadas de resina epóxi (já misturada com o endurecedor) e tecido de rami, em um molde metálico, mantido a vácuo através de uma bomba de sucção, garantindo a eliminação das bolhas e vazios no interior do compósito laminado. Após a fabricação, os compósitos laminados foram curados em temperatura ambiente por 24 horas e depois cortados nas dimensões de 120 x 150 x 10 mm.

Para o ensaio balístico, o compósito laminado foi montado em uma blindagem multicamada (figura 2), através da colagem das camadas de alumínio, de compósito laminado e da cerâmica, utilizando um adesivo à base de poliuretano e por último posicionada em frente a um bloco de plastilina (CORFIX®) com 50 mm de espessura e densidade de 1,7 g/cm³ (figura 3), e, após o impacto balístico, foi medida a deformação (indentação) deixada pela blindagem na plastilina.

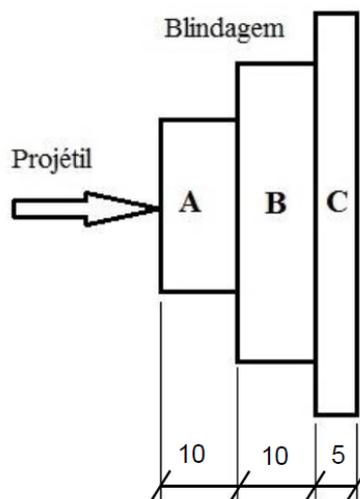


Figura 2 - Blindagem multicamada: Diagrama esquemático: A é a camada cerâmica, B é o compósito laminado, C é o alumínio e Figura 3 - Equipamento utilizado no ensaio balístico: Alvo posicionado na plastilina; (Fonte: DA SILVA, 2014b).

As condições gerais dos ensaios foram:

- Munição: calibre 7,62 mm M1, conforme é fornecida comercialmente ao Exército.
- Distância do alvo (definida como a distância da boca da arma até o ponto de contato com o material a ser atingido): 15 metros, conforme prevê a norma NIJ-0101.06 para as munições 7,62 mm (figura 4);
- Ângulo de incidência no alvo: 90°

- Local: Centro de Avaliações do Exército (CAEx), linha de tiro IV, destinada aos testes que empregam armas e munições até o calibre .50”.

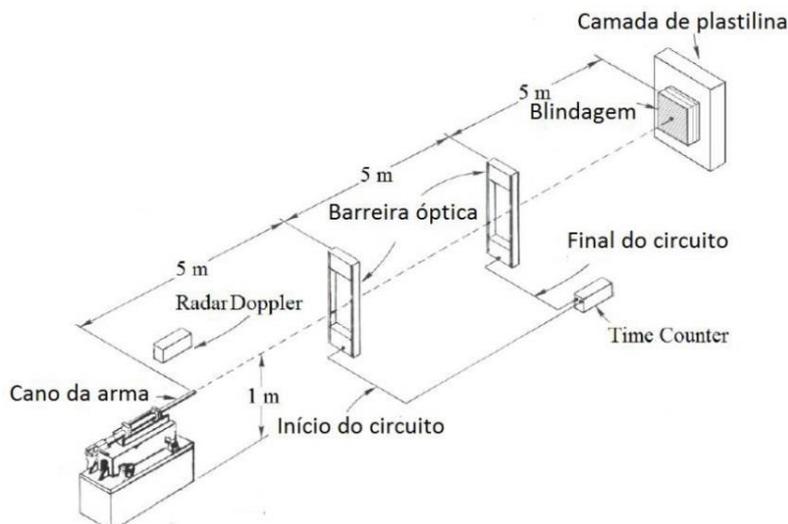


Figura 4 - Equipamento utilizado no ensaio balístico: Esquema ilustrando o sistema com barreira óptica modelo B471 da HPI (Fonte: DA SILVA, 2014b).

O critério adotado para a caracterização da eficiência balística foi a medida da profundidade da deformação na plastilina após o impacto (figura 5). Foi considerada eficiente se o valor foi igual ou inferior a 44 mm (NIJ 0101.06).



Figura 5 - Medida do trauma (indentação) no material de referência (plastilina).

A superfície de fratura dos corpos de prova foi caracterizada, após cobertura com ouro, por microscopia eletrônica de varredura, MEV do laboratório de materiais avançados - LAMAV.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados 8 ensaios balísticos em blindagens com camada intermediária do compósito laminado de tecido de rami. A figura 6 mostra esta blindagem, antes e após o impacto balístico. Não houve perfuração (figura 6 b), e o compósito permaneceu coeso, sem fragmentação. Em poucos casos foi observada trinca que chegou até a borda do compósito.



Figura 6 - Blindagem multicamada com compósito laminado de tecido de rami: (a) Antes, (b) e (c), após o impacto balístico.

A blindagem de compósito polimérico laminado com tecido de rami (CLR) também obedeceu ao critério da NIJ-0101.06 (2008) de indentações abaixo de 44 mm. A TAB. 1 mostra os valores de indentação na plastilina, desvio padrão e espessura do compósito. A tabela 1 não foi observado valor atípico de indentação.

TAB 1 - Profundidade da indentação, desvio padrão e espessura da camada intermediária de uma blindagem balística.

Camada intermediária	Espessura (mm)	Indentação (mm)	Desvio Padrão
CLR1	10,69	14,23	0,65
CLR2	10,31	17,02	0,17
CLR3	10,75	16,52	0,39

Após a realização dos ensaios balísticos, um fragmento do compósito foi levado ao MEV (figura 7). A figura 8a mostra a região em que foi recuperado o fragmento, e as figuras 8b, 8c e 8d mostram seu aspecto microscópico. Observa-se que a camada intermediária permaneceu coesa, e que as fibras se distribuem com boa uniformidade na matriz polimérica (figura 8b). Observa-se pela figura 8b e 8d grande quantidade de fragmentos da cerâmica depositados na superfície das fibras, que incluem incrustações e pequenos fragmentos retidos por forças de Van der Waals e/ou eletrostáticas. Novamente observou-se a separação das microfibrilas e suas superfícies aproximadamente lisas (figura 8c e 8d) e possuem finos fragmentos da cerâmica depositados em sua superfície.

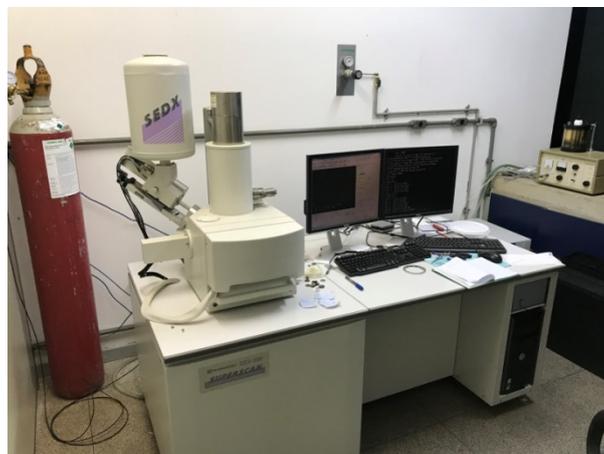
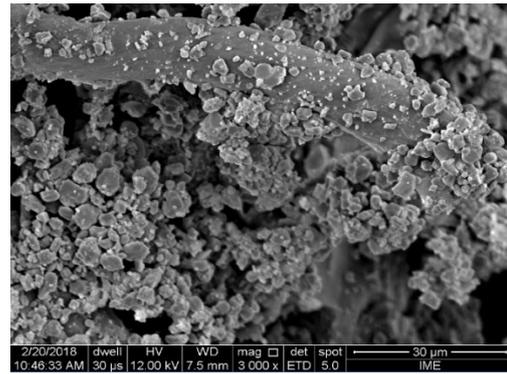


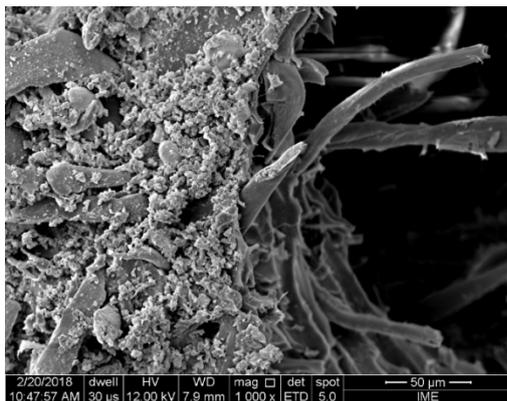
Figura 7 - Microscópio eletrônico de varredura.



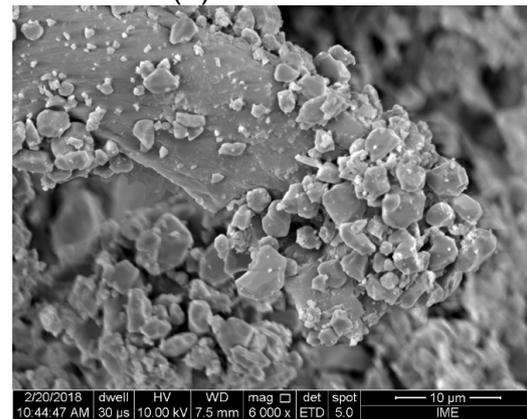
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8 - (a) Detalhe da região central do corpo de prova. Micrografias eletrônicas do compósito laminado com tecido de rami e epóxi.

4 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram realizados ensaios para avaliação do comportamento balístico de um compósito polimérico laminado com tecido de rami quando submetidos ao impacto de projéteis de calibre 7,62 mm (nível III). Foram utilizadas as seguintes configurações: Cerâmica à base de $Al_2O_3+4\%Nb_2O_5$ como camada frontal, compósitos de polimérico laminado com tecido de rami como camada intermediária, e liga de alumínio 5052 H34 como camada posterior. A seguir são apresentadas as conclusões do presente trabalho.

1. Todos os SBMs testados neste trabalho obedeceram ao requisito da norma NIJ-0101.06 (2008) de resistir à penetração do projétil e imprimir indentação menor que 44 mm no material de referência (plastilina).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro e de bolsas concedidos pelo CNPq, CAPES e FAPERJ.

REFERÊNCIAS

- 1 C.F.T. Freitas, Aspectos econômicos da cultura de rami. Instituto de Economia Agrícola (IEA), São Paulo.

- 2 SWICOFIL. Natural Fibers: Ramie. 2015. Disponível em: <http://www.swicofil.com/products/007ramie.html>, acessado em 10/04/2016.
- 3 MOBASSERI, A.A.; ANSARI, A.R.; ZAREI, H.R.; SEDIGHI, M.; MOBASSERI, F. Optimization of Combined Layers Produced by the Ceramic/Composite and Ceramic/Aluminum Plates. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 7, n.6, p. 199-210. 2013.
- 4 FARUK, P.; BLEDZKI, A.K.; FINK, H.; SAIN, M. Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. Macromolecular Materials Engineering, Vol. 299, n.1, p. 9-26. 2014..
- 5 ABIDIN, M.H.Z.; MOHAMAD, M.A.H.; ZAIDI, A.M.A.; MAT, W.A.W. Experimental Study on Ballistic Resistance of Sandwich Panel Protection Structure with Kenaf Foam as a Core Material against Small Arm Bullet. Applied Mechanics and Materials, Vol. 315, p. 612-615. 2013.
- 6 MARSYAHYO, E.; JAMASRI; ROCHARDJO, H.S.B.; SOEKRISNO. Preliminary Investigation on Bulletproof Panels Made from Ramie Fiber Reinforced Composites for NIJ Level II, IIA, and IV. Journal of Industrial Textiles, Vol. 39, p. 13-26, 2009.
- 7 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 6 Multilayered Ballistic Armor. Metallurgical and Materials Transactions A (On-line). Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11661-015-3032-z>>. 2015.
- 8 RADIF, Z.S.; ALI, A.; ABDAN, K. Development of a Green Combat Armour from Rame-Kevlar-Polyester Composite. Pertanika Journal of Science and Technology, Vol. 19, nº 2, p. 339-348. 2011.
- 9 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.
- 10 Oliveira, C.G.; Análise do comportamento mecânico em impacto e flexão de compósitos laminados de matriz epóxi reforçados com tecido de rami. TCC – trabalho de conclusão de curso – UENF - 2016.
- 11 DA SILVA, L.C. 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. 2014b.