

Fabricação e caracterização mecânica de placa balística

Manufacture and mechanical characterization of ballistic plate

RESUMO

Renan da Silva Mantovani
renanmantovani@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Wires Costa Machado
wires@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Romeu Rony Cavalcante da Costa
romeu@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Conflitos urbanos armados, de guerra, guerrilha ou devido à criminalidade oferecem grande risco à vida de civis, soldados e policiais. Para proteção contra essas ameaças foram desenvolvidos sistemas de blindagens contra projéteis, como no caso dos projéteis de alta velocidade (acima de 800 m/s), como o calibre 7,62 mm em que são utilizados os Sistemas de Blindagem Multicamadas (SBMs), compostos por camadas de diferentes materiais, buscando oferecer uma boa relação entre desempenho e leveza. Avaliou-se o desempenho balístico de uma placa para blindagem produzida a partir da resina de poliuretano rígida como matriz, além de fibra de vidro, fibra de aramida, e malha de aço, como reforço. O objetivo é substituir a camada intermediária de um SBM (normalmente utiliza fibra de aramida ou polietileno de alta performance, materiais de custo elevado), em busca de uma solução com desempenho e massa semelhantes e custo inferior. Foram realizadas pesquisas com o objetivo de se encontrar uma disposição ideal dos constituintes para que a placa compósita pudesse ser eficaz em sua função requerida. Após a confecção da placa foram realizados testes balísticos seguindo a norma ABNT NBR 15000, utilizando projéteis de calibres 0,357" Magnum, 0,40" e 5,56 mm, que perfuraram as placas individuais.

PALAVRAS-CHAVE: Desempenho balístico. Desempenho ao impacto. Compósito.

ABSTRACT

Armed conflicts of war, guerrillas, urban or due to crime pose a great risk to the lives of civilians, soldiers and police. To protect against these threats, projectile shielding systems have been developed, as in the case of high speed projectiles (above 800 m / s), such as the 7.62 mm (.30 in) caliber in which the Multilayer Armor Systems (MARs), which are composed of layers of different materials, which seeks to offer a good relationship between performance and lightness. The ballistic performance of an armor plate was evaluated, produced from rigid polyurethane resin as a matrix, in addition to glass fiber, aramid fiber and steel mesh, as reinforcement. The objective of replacing the intermediate layer of an MAR (which mostly uses high performance aramid or polyethylene fiber, which are high cost materials), in search of a solution with similar performance and mass and less cost. Research was carried out in order to find an ideal disposition of the constituents so that the composite board could be effective in its required function. After making the plate, ballistic tests were carried out following the ABNT NBR 15000 standard, using 0.357" Magnum, 0.40" and 5.56 mm projectiles, which pierced the individual plates.

KEYWORDS: Ballistic performance. Impact performance. Composite.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Naik *et al.* (2019, p.1) afirma que “Nos últimos tempos, avanços na tecnologia de armas desafiam os pesquisadores e engenheiros de materiais a desenvolverem proteções balísticas capazes de suportar o impacto dos armamentos modernos.”

Até a Segunda Guerra Mundial, as blindagens eram feitas geralmente de metal, no entanto elas se tornaram cada vez maiores e mais pesadas, à medida que novos projéteis eram desenvolvidos. Com o avanço tecnológico, novos materiais, como cerâmica e compósitos de fibra, foram introduzidos e combinados para melhorar o desempenho das armaduras, onde a cerâmica é utilizada para quebrar a ponta dos projéteis e o compósito para conter os fragmentos de cerâmica e de projéteis. (BÜRQUER *et al.*, 2011, p.1).

Wang, *et al.* (2014, p.1) diz que “[...] Com os avanços nos materiais têxteis foi possível produzir armaduras balísticas com desempenho equivalente ou melhor do que os metálicos, possuindo menor peso e flexibilidade de movimento corporal.

Segundo o Instituto Nacional de Justiça Americano (NIJ Standard-0101.06, 2008, p.21), “[...] blindagem balística é um item ou equipamento que promove proteção contra ameaças balísticas específicas dentro da sua área coberta”.

Cada tipo de projétil exige um nível de proteção específico, variando de proteção contra ameaças mais leves (níveis I, IIA e II), eficazes contra calibres 0,38”, 0,357” e 9 mm, até proteção contra ameaças mais pesadas (níveis IIIA, III e IV), resistentes a calibres 0,44”, 5,56 mm e 7,62 mm.

Na confecção de aparatos balísticos utilizam-se materiais nobres (Kevlar), entretanto, este trabalho visa utilizar materiais alternativos (fibra de vidro, malhas de aço), cujo objetivo é que os corpos de prova manufaturados sejam submetidos a ensaios balísticos, e os resultados analisados, buscando ter desempenhos similares, com menor peso e custo em relação aos confeccionados com Kevlar.

MATERIAL E MÉTODOS

As placas são constituídas de fibra de vidro bidirecional E, malha 006 fio 20 de aço galvanizado, malha 008 fio 24 de aço galvanizado malha 050 fio 34 de aço galvanizado, poliuretano rígido, fibra de Aramida, dos quais o tipo, densidade, tamanho e quantidade dos reforços utilizados estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos reforços

Reforço	Tipo	Densidade (g/cm ³)	Tamanho (cm x cm)	Quantidade
Fibra de vidro bidirecional	E	0,837	32x32	21
Malha de aço (menor)	Malha 006 - fio 20	1,45	32x32	4
Malha de aço (média)	Malha 008 - fio 24	1,2	32x32	2
Malha de aço (maior)	Malha 050 - fio 34	1,12	32x32	2
Aramida	Kevlar® 49	1,01	32x32	4

Fonte: Autoria própria (2019).

Foram efetuados os cortes dos tecidos e das malhas de aço nas dimensões 32 cm x 32 cm, utilizando uma tolerância de descarte de material de 1 cm por lado. As malhas cortadas estão representadas na Figura 1.

Figura 1 – Malhas cortadas



Fonte: Autoria própria (2019).

A preparação da poliuretana se dá através do processo de homogeneização de polioli e do isocianato, na proporção 1:1.

A Tabela 2 mostra o tipo, densidade, quantidade de proporção da resina utilizada.

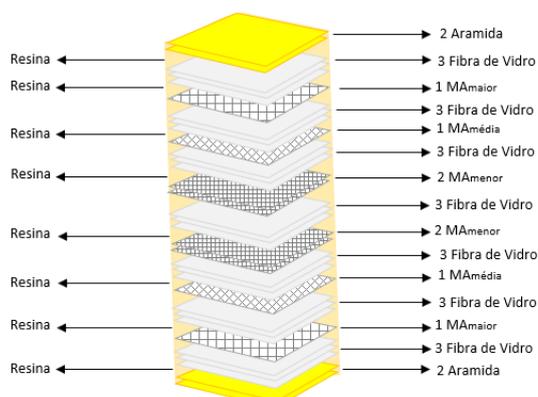
Tabela 2 – Dados da resina

Componentes	Tipo	Densidade (g/cm ³)	Quantidade (g)	Proporção em massa
Isocianato	IC200	1,24	265	1
Polioli	AG201	1,0	265	1
Poliuretano	Rígido	1,12	530	-

Fonte: Autoria própria (2019).

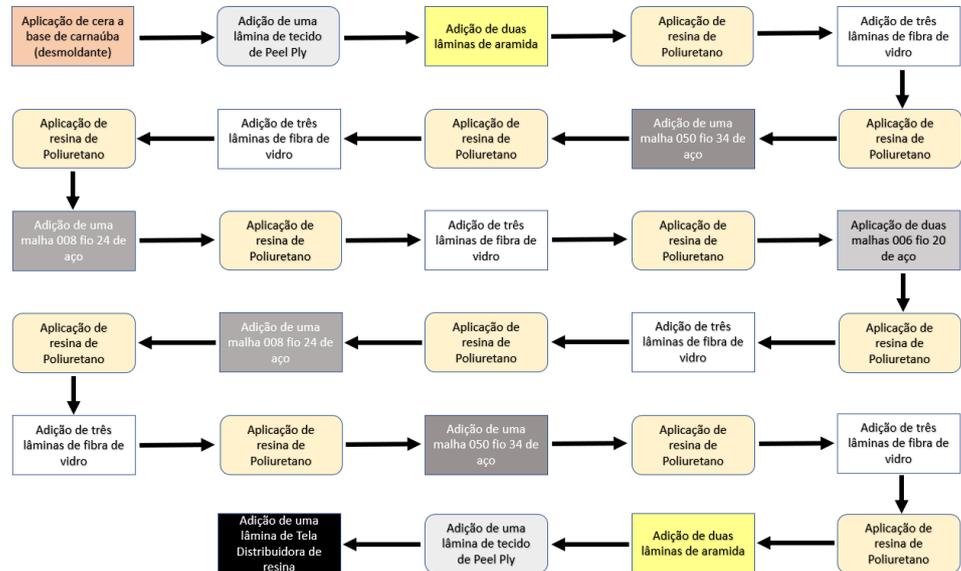
A seguir, em uma mesa de vidro foi delimitada, com tacky tape (fita selante), uma área para produção da bolsa de vácuo, seguiu-se o empilhamento do material de acordo com a Figura 2 e com o fluxograma da Figura 3.

Figura 2 - Configuração da placa



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 3 – Fluxograma da sequência de empilhamento para laminação a vácuo. As colorações dos quadros são meramente ilustrativas.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 4 representa a aplicação de resina sobre uma lâmina de fibra de aramida.

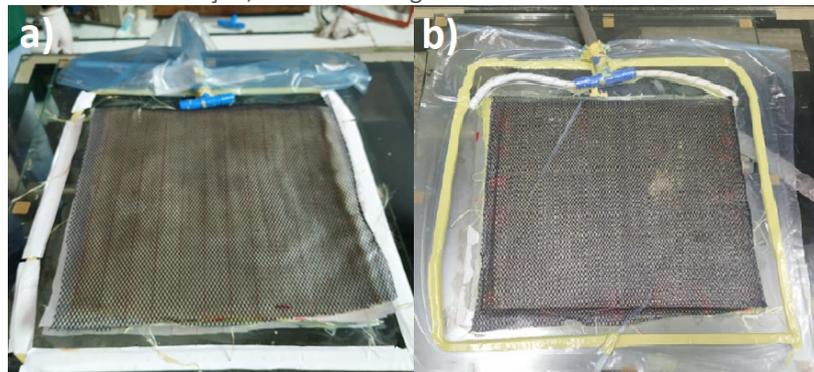
Figura 4 – Aplicação de resina sobre uma lâmina de fibra de aramida



Fonte: Autoria Própria (2019).

Após o empilhamento e a impregnação do material com a PU, procedeu-se o fechamento da bolsa para se promover o vácuo, o qual é realizado por uma bomba de vácuo Edwards, o qual teve duração de aproximadamente 24 horas.

Figura 5 – a) Estrutura da placa antes da laminação a vácuo; b) Estrutura da placa no fim da laminação, antes do desligamento da bomba de vácuo.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Após o processo de produção da bolsa de vácuo, mediu-se a quantidade restante de poliuretano no recipiente onde o polioli e o isocianato foram homogeneizados, a massa residual da poliuretana no recipiente foi de 28,41g.

Este procedimento foi realizado em um ambiente com temperatura de 23 °C e umidade relativa do ar de 53%. Após realizado o processo, a placa foi retirada da bolsa e preparada para a confecção dos corpos de prova.

Figura 6 – Placa compósita após a laminação a vácuo.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Foram mensurados a massa e o volume da placa, e a partir destes valores foi calculada a densidade. Os valores estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados da placa

Massa (g)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Profundidade (mm)	Volume (mm ³)	Densidade (g/cm ³)
1336,78	300	300	8,5	765	1,747

Fonte: Autoria própria (2019).

Em seguida se retirou as rebarbas da placa, ficando com uma dimensão de 30 cm x 30 cm e posteriormente foram extraídos os corpos de prova dessa placa, realizando cortes para separar a placa em 4 corpos de prova de 15 cm x 15 cm.

A próxima etapa foi a realização dos ensaios balísticos. Para isso, montou-se uma estrutura para que pudessem ser realizados os disparos. Os corpos de prova

a serem testados foram colocados sobre uma coluna de pneus, e apoiados posteriormente por um bloco de argila, utilizado para simular uma massa balística, que por sua vez é empregada para simular a densidade e a viscosidade do tecido muscular humano, a fim de analisar o impacto do projétil sobre ele. Foi também instalado um cronógrafo, para que pudesse ser medida a velocidade do projétil.

Os tipos de armas e calibres utilizados foram: pistola com calibre 0,40" com projétil do tipo ogival, revólver calibre 0,357" com projétil de ponta oca, carabina calibre 0,40" com projétil de ponta oca gold hex e fuzil calibre 5,56 mm com projétil do tipo perfurante. Todos os projéteis utilizados eram da Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC).

Seguindo a norma ABNT NBR 15000, os disparos utilizando pistola e revólver foram realizados a 5 metros de distância do corpo de prova, já os disparos de carabina e fuzil foram realizados distando 15 metros do corpo de prova, além do cronógrafo ser posicionado a 2 metros de distância da boca do cano da arma, o atirador realizou os disparos a mesma altura dos corpos de prova, passando pelas antenas do cronógrafo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro disparo realizado foi utilizando a pistola de calibre 0,40" com projétil ogival. O projétil transfixou a placa balística e o bloco de argila. No segundo teste utilizou-se o revólver calibre 0,357" com projétil de ponta oca, onde ele atravessou a placa e o bloco de argila. No terceiro disparo foi utilizada a carabina calibre 0,40" com projétil do tipo ponta oca gold hex. O disparo foi realizado e o projétil também transfixou a placa balística e o bloco de argila. O quarto teste foi executado, atirando com o fuzil calibre 5,56 mm com projétil do tipo perfurante, que também atravessou a placa balística e o bloco de argila.

Tendo em vista que os disparos perfuraram os corpos de prova individualmente, procedeu-se o enfileiramento dos 4 corpos de prova, um atrás do outro e prendendo-os com fita adesiva, para verificar se os disparos os transfixariam. Para executar o disparo, utilizou-se a pistola calibre 0,40" com projétil de ponta ogival. O projétil foi disparado, impactou com a placa e desviou sua trajetória. Em seguida utilizou-se o mesmo conjunto de placas para um teste com o revólver calibre 0,357" com projétil de ponta oca. Foi executado o disparo, onde o projétil passou pela primeira placa e parou na segunda, ficando preso em sua estrutura. Por fim, foi feito mais um disparo no conjunto de placas, desta vez utilizando o fuzil calibre 5,56 mm. O disparo foi executado e o projétil transfixou todas as placas balísticas e o bloco de argila.

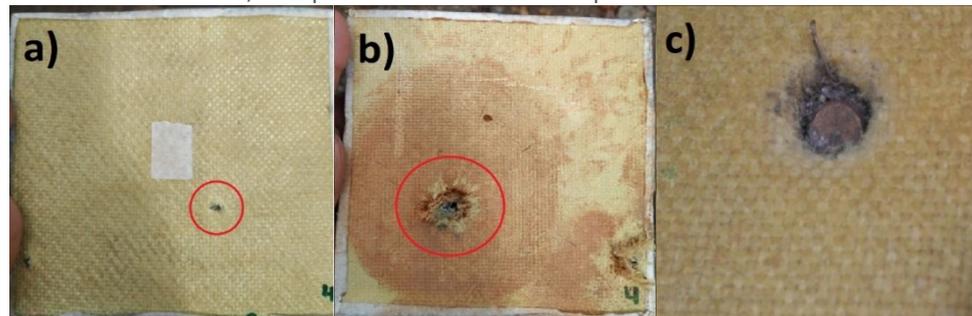
Com os valores de massa dos projéteis, velocidades de tiro mensuradas pelo cronógrafo, foi possível calcular a energia de cada projétil, além da pressão aproximada exercida na placa balística por eles. Os valores estão dispostos na Tabela 4. Algumas imagens de corpos de prova após os ensaios balísticos estão representadas na Figura 7.

Tabela 4 – Valores dos Ensaios Balísticos

Placa	Volume aproximado da Placa (mm ³)	Calibre	Massa do projétil (g)	Velocidade (m/s)	Energia (J)
Corpo de Prova 1	191250	0,40" - ETPP	11,66	300	524,70
Corpo de Prova 2	191250	0,40" - oca gold hex - carabina	10,04	407	831,56
Corpo de Prova 3	191250	0,357" - oca	10,24	376	723,85
Corpo de Prova 4	191250	5,56 mm comum	3,56	995	1762,24
Conjunto 1	765000	0,357" - oca	10,24	376	723,85
Conjunto 2	765000	0,40" - ETPP	11,66	300	524,70
Conjunto 3	765000	5,56 mm comum	3,56	995	1762,24

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 7 – a) Região frontal de um corpo de prova perfurado por projétil 5,56 mm; b) Região posterior de um corpo de prova perfurado por projétil 5,56 mm; c) Projétil 0,357" preso à estrutura de uma placa balística



Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram construídos corpos de prova, realizados ensaios balísticos e analisados os resultados destes, para avaliação do comportamento balístico de um laminado compósito quando submetidos ao impacto de projéteis de calibre 0,40" (pistola e carabina), 0,357" (revólver) e 5,56 mm (rifle de assalto). Foram efetuados ensaios balísticos utilizando os corpos de prova individualmente e um conjunto formado pelos 4 corpos de prova enfileirados e unidos com fita adesiva.

O conhecimento e experiência adquiridos com este trabalho foram importantes para o prosseguimento do projeto de fabricação de um laminado compósito capaz de substituir eficazmente a camada intermediária de um SBM, com massa similar e custo inferior. Exemplos de ideias para trabalhos em desenvolvimento são a substituição de fibra de vidro por fibras de origem natural, alteração nas orientações das malhas de aço, adição de placas de policarbonato compacto e alterações nas disposições das camadas.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a KEHL® Indústria e Comércio LTDA - ME e a RAW® pelo fornecimento de materiais para o desenvolvimento deste projeto, aos colegas do Laboratório de Materiais Compósitos pela ajuda prestada e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procopio pela estrutura oferecida.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 15000. **Blindagens para impactos balísticos - classificação e critérios de avaliação**, 2005.

ASSIS, F. S. **Comportamento balístico de blindagem multicamadas com compósitos de poliéster reforçados com fibras de juta**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:
http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/Dissertacao_Foluke_Salgado.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

BRAGA, F. O. **Comportamento Balístico de uma Blindagem Multicamada Utilizando Compósito Poliéster-Curauá como Camada Intermediária**. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais no Instituto Militar de Engenharia, 2015. Disponível em:
http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/Dissertacao_Fabio_2015.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

BOLZAN, L. T. **Avaliação do comportamento balístico de um sistema de blindagem multicamada com compósito de poliéster reforçado com fibra e tecido de sisal**. Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:
http://www.ime.eb.mil.br/arquivos/teses/se4/cm/Dissertacao_Lucas_Tedesco.pdf. Acesso em: 20 out. 2019.

MONTEIRO, S. N.; LIMA JR, E. P.; LOURO, L. H. L.; SILVA, L. C.; DRELICH, J. W. Unlocking Function of Aramid Fibers in Multilayered Ballistic Armor. **Metallurgical and Materials Transactions A**, v. 46, p. 37–40, jan. 2015. Disponível em:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11661-014-2678-2>. Acesso em: 20 out. 2019.

NAIK, S.; DANGAGWHAL, R. D.; LOHARKAR, P. K. A review on various aspects of Kevlar composites used in ballistic applications. **Materials Today: Proceedings**, v. 21, p. 1366-1374, fev. 2020. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532030239X>. Acesso em: 20 out. 2019.

NIJ Standards-0101.06. **Ballistic Resistance of Body Armor**. U.S. Department of Justice/Office of Justice Programs - National Institute of Justice. 2008.

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, jun. 2014. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/304506225_Recent_Trends_in_Ballistic_Protection. Acesso em: 20 out. 2019.