

## IMPACTO BALÍSTICO EM COMPOSTO DE ALUMINA-PEAUPM\*

*Alexandre Bestwina<sup>1</sup>  
Caio da Silva Pontes<sup>1</sup>  
Gabriel Flintz Fraga Marques<sup>1</sup>  
Leonardo Paraíba Cidrão<sup>1</sup>  
Renan da Silva Ramos<sup>2</sup>  
Wilson Wenis dos Santos Belle<sup>1</sup>  
André Ben-Hur da Silva Figueiredo<sup>3</sup>*

### Resumo

A resposta a impacto balístico dos compósitos de alumina com polietileno de ultra alto peso molecular (PEAUPM) com diferentes concentrações relativas de alumina foi investigada. Os testes de impacto foram realizados em velocidade subsônica usando sistema de ar comprimido. As amostras de melhor desempenho foram as A00 e A90, sendo fraca a adesão interfacial entre a matriz de PEUAPM e as partículas de alumina. A profundidade de penetração (PP) em madeira MDF, protegido por um disco feito do compósito, diminuiu com o aumento da concentração de alumina no compósito.

**Palavras-chave:** Proteção balística; Impacto balístico; Compósito de Alumina-PEAUPM.

### BALLISTIC IMPACT OF ALUMINA-UHMWPE COMPOSITE

The response to ballistic impact of alumina-ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) composites with different relative concentrations of alumina was investigated. The impact tests were carried out at subsonic speed using a compressed air system. The best performance samples were the A00 and A90, being poor adhesion between the UHMWPE matrix and alumina particles. The depth of penetration (DOP) in a Medium Density Fiberboard (MDF) bulkhead protected by a disk of the composite decreased with increasing concentration of alumina in the composite.

**Keywords:** Ballistic shielding; Ballistic impact; Alumina-UHMWPE composite.

1. Engenharia (Curso Básico), Bachelando, Aluno, Seção de Ensino Básico, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.
2. Engenharia (Curso Básico), Bachelando, 1º Tenente, Seção de Ensino Básico, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.
3. Bacharelado em Física, Doutorado, Professor Associado, Seção de Ensino Básico (SE1) e Seção de Engenharia e Materiais (SE8), Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ e Brasil.

## 1. INTRODUÇÃO

No início dos tempos, a humanidade buscou formas de se proteger durante os diversos conflitos e confrontos na qual esteve envolvida. Na antiguidade, utilizavam-se pele de animais para prevenção de ataques e lesões, mas com os avanços técnico científico, essa proteção se mostrou cada vez mais ineficiente. Com o constante aumento no poder de destruição dos equipamentos de ataque, vários outros materiais foram utilizados, tais como seda, nylon, outros tipos de fibra e mais recentemente a aramida [1].

Diferenciando-se dos antigos coletes pessoais a prova de bala, os atuais são feitos a partir de uma única camada de aramida, fator limitante da proteção a velocidades relativamente baixas. Desse modo, para a proteção contra armamentos mais pesados, faz-se necessário a utilização de um sistema de blindagem multicamadas (SBM), na qual, o convencional é ter uma primeira camada de cerâmica, responsável por erodir a ponta do projétil [2]. Esse processo de dissipação de energia envolve, não somente a fragmentação do projétil, mas também a fragmentação da cerâmica, o que gera dois problemas: a baixa resistência a impactos sucessivos e a grande quantidade de estilhaços de alta energia, o que pode acarretar em acidentes.

Os principais materiais cerâmicos utilizados em coletes balísticos são alumina ( $Al_2O_3$ ), carbetto de silício (SiC) e carbetto de boro ( $B_4C$ ). Por causa de sua dureza, resistência a abrasão e inércia química a alumina tem sido vastamente utilizada por todos os tipos de proteção. Entretanto, sua pequena força de flexão e baixa resistência à fratura e alta densidade molecular, restringem suas aplicações a equipamentos cujo peso é crucial [3 – 6].

O objetivo deste trabalho foi analisar as propriedades do compósito de alumina com diferentes concentrações de PEUAPM, o qual foi utilizado para diminuir a densidade, aumentar força de flexão e a resistência a fratura, tornando o colete mais moldável ao corpo e evitando fratura após o primeiro tiro [7,8]. Existe ainda um fator econômico envolvido, que possibilitaria um menor custo para o governo e órgãos de segurança, já que o compósito é preparado a uma temperatura relativamente baixa,  $230^\circ C$ , enquanto alumina pura deve ser preparada sintetizando pó de alumina a  $1400^\circ C$ , um procedimento de custo mais elevado [9].

## 2. DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Material e Método

Os materiais utilizados foram pó PEAUPM Mipelon PM-200 com diâmetro médio de  $10\ \mu m$  (Mitsui Chemicals), pó Alundum de 60 mesh com dureza de 9,25 Moh (Fisher Scientific) e MDF de 1 polegada de espessura (Arauco do Brasil).

Preparou-se através de mistura mecânica diferentes compósitos com razões de massa de alumina-PEAUPM distintas. Após esse processo, os compósitos foram rotulados como A20, A40, A60, A80, A85, A90 e A95, onde os números indicaram a percentagem em massa de alumina. Utilizou-se um misturador mecânico da marca Britânia para realizar o processo, sem auxílio de solvente.

O formato das amostras tem as seguintes medidas: 5mm de espessura e 51 mm de diâmetro. Sob uma força de 90kN, os discos foram pressionados durante 10 min na temperatura de  $230^\circ C$ . As amostras A00 (PEUAPM puro) e A100 (alumina pura) foram sinterizadas utilizando uma rota previamente descrita.

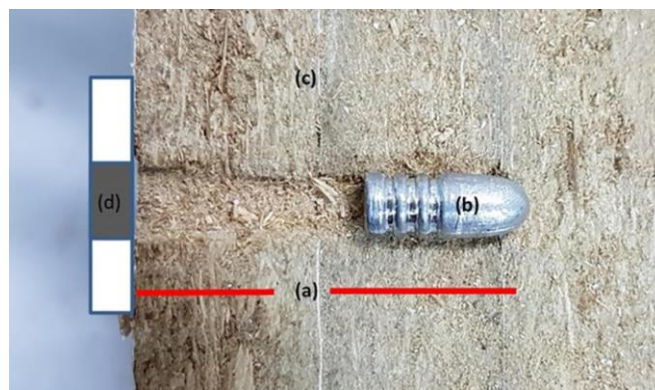
Para os testes balísticos, utilizou-se um rifle de ar comprimido Gunpower SSS com um supressor de ruído Padrão Armas. O projétil utilizado é de chumbo no calibre 22, com massa aproximada de 3,3 g. A velocidade de impacto foi medida através do cronógrafo balístico Air Chrony modelo MK3, com precisão de 0,15m/s.

Os testes balísticos foram realizados conforme a seguinte organização: o rifle foi posicionado a 5 m de distância do alvo, constituído por um disco de amostra preso por uma fita adesiva a uma placa de MDF, disposto perpendicularmente ao rifle.

Afim de aumentar a estabilidade do projétil na saída do rifle e reduzir o ruído sonoro causado pelo escape, utilizou-se o supressor de ruído.

A escolha das placas de MDF foram embasadas pelo fato de que o MDF é um material plano, denso e homogêneo, quando comparado com madeira maciça.

O cronógrafo balístico foi colocado a uma distância de 10 cm da saída do supressor de ruído. Na Figura 1 o resultado de um disparo típico.



**Figura 1.** Resultado de um disparo típico. (a) Profundidade de penetração (PP), medida a partir da superfície do anteparo até à ponta do projétil; (b) projétil; (c) anteparo do MDF; (d) disco do compósito. Adaptado de Figueiredo et al. 2018 [10].

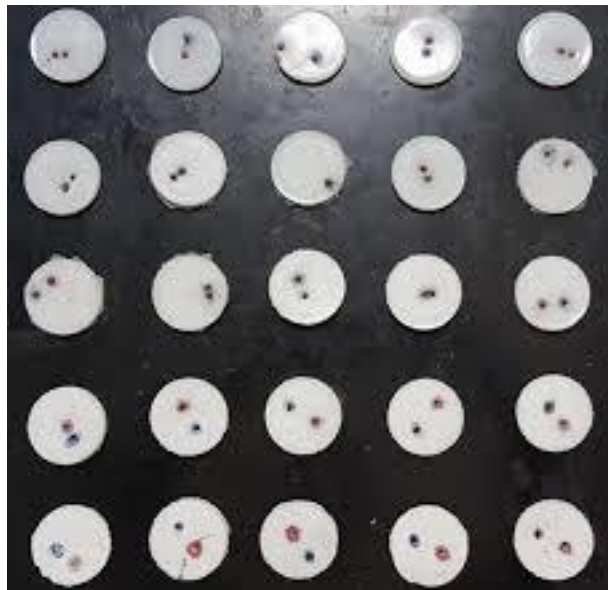
Foi constatado que a profundidade de penetração (PP) no anteparo depende da velocidade do impacto e da massa do projétil, para projéteis ogivais [11-16]. Um fator de desempenho (FD) pode ser definido pois para o caso de proteção pessoal, o peso é uma importante característica a ser considerada. Sendo assim, o fator de desempenho pode ser obtido da seguinte forma:

$$FD = 100/(PP \times M_a) \quad (1)$$

em que  $M_a$  é a massa da amostra.

## 2.2 Resultado e Discussão

Todos os discos utilizados no ensaio balístico, foram atravessados pelos projéteis. Para cada composição, foram realizados 5 experimentos, com dois disparos por



experimento. Os resultados obtidos estão na Figura 2, para as amostras A00, A20, A40, A60 e A80.[10]

**Figura 2.** Amostras A00, A20, A40, A60 e A80 ordenadas em linha, respectivamente, de cima para baixo, após os testes balísticos. Adaptado de Figueiredo et al. 2018 [10].

A Tabela 1 contém os dados de cada amostra, os quais são: massa do projétil ( $M_p$ ); velocidade média de impacto ( $v$ ); profundidade de penetração (PP); massa da amostra ( $M_a$ ); e fator de desempenho (FD).

Os resultados obtidos podem ser comparados, pois tanto a massa, quanto a velocidade de impacto, foram as mesmas, com excelente aproximação. Desconsiderando a amostra de Alumina Pura (A100), a qual está presente apenas para comparação, as composições que obtiveram os maiores fatores de desempenho foram as de A00 e A90, Figura 3. Esse resultado sugere que as forças de adesão entre as partículas de Alumina e de PEAUPM são muito fracas.

**Tabela 1.** Resultado do teste balístico.

| AMOSTRA | $M_p$ (g)       | $v$ (m/s)         | PP (mm)          | $M_a$ (g)        | FD ( $\text{mm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) |
|---------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|
| A00     | $3,23 \pm 0,08$ | $245,56 \pm 2,14$ | $19,83 \pm 0,94$ | $9,09 \pm 0,20$  | $0,55 \pm 0,01$                       |
| A20     | $3,23 \pm 0,09$ | $243,69 \pm 1,69$ | $21,16 \pm 1,11$ | $11,00 \pm 0,33$ | $0,43 \pm 0,01$                       |
| A40     | $3,23 \pm 0,10$ | $245,13 \pm 1,29$ | $19,63 \pm 0,99$ | $13,89 \pm 0,23$ | $0,37 \pm 0,01$                       |
| A60     | $3,23 \pm 0,08$ | $246,35 \pm 1,25$ | $14,49 \pm 1,12$ | $18,88 \pm 0,64$ | $0,37 \pm 0,01$                       |
| A80     | $3,24 \pm 0,12$ | $244,65 \pm 1,72$ | $6,89 \pm 0,90$  | $32,94 \pm 0,32$ | $0,44 \pm 0,01$                       |
| A85     | $3,17 \pm 0,25$ | $255,97 \pm 2,13$ | $6,75 \pm 0,97$  | $34,15 \pm 1,12$ | $0,43 \pm 0,01$                       |
| A90     | $3,25 \pm 0,14$ | $249,80 \pm 1,46$ | $4,25 \pm 0,97$  | $44,47 \pm 1,60$ | $0,53 \pm 0,03$                       |
| A95     | $3,23 \pm 0,10$ | $259,95 \pm 0,89$ | $3,85 \pm 1,30$  | $56,24 \pm 0,10$ | $0,46 \pm 0,03$                       |
| A100    | $3,26 \pm 0,08$ | $243,67 \pm 1,01$ | $1,10 \pm 0,31$  | $62,18 \pm 2,79$ | $1,46 \pm 0,21$                       |

Adaptado de Figueiredo et al. 2018 [10].

A Tabela 1 mostra a variação da profundidade de penetração, de acordo com a concentração de alumina. O compósito com a concentração de 20% de alumina tem profundidade de penetração maior do que a do polímero puro, provavelmente devido ao fato de que pequena adição de alumina produza defeitos, diminuindo a

resistência à penetração. Para maiores concentrações de alumina, aumentando a concentração, aumenta-se o efeito de espessamento por cisalhamento, com o aparecimento de aglomerados durante a colisão [17, 18]. Para concentrações de alumina acima de 60%, observa-se uma diminuição significativa da profundidade de penetração, o que ocorre provavelmente devido ao aumento da contribuição da região cristalizada do polímero em volta das partículas, devido à diminuição da distância entre as partículas.

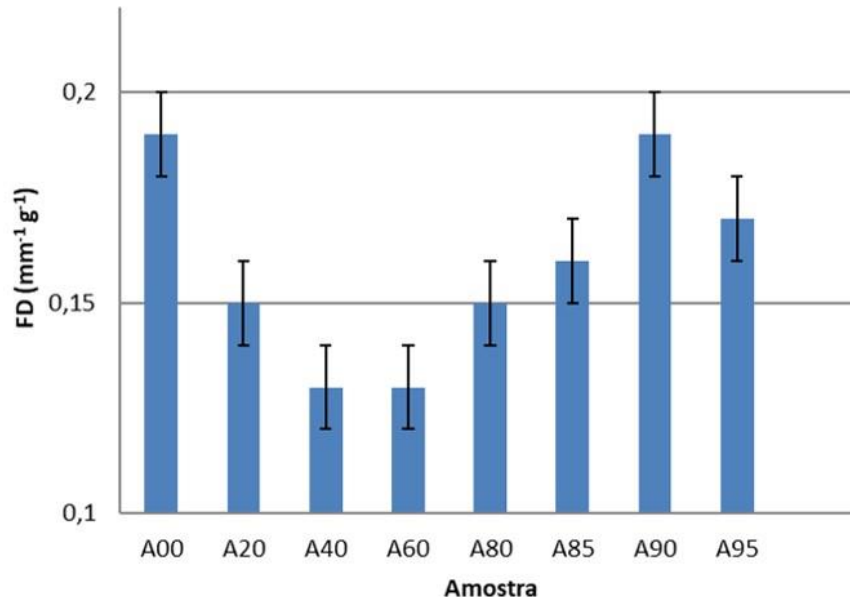


Figura 3. Dependência do fator de desempenho de acordo com as amostras.

### 3. CONCLUSÃO

As amostras de melhor desempenho foram as A00 e A90, sendo fraca a adesão interfacial entre a matriz de PEUAPM e as partículas de alumina, pois a amostra A90 ficou abaixo do desempenho da A00.

A profundidade de penetração (PP) em madeira MDF, protegido por um disco feito do compósito, diminuiu com o aumento da concentração de alumina no compósito.

### REFERÊNCIAS

1. Cavallaro PV. Soft Body Armor: An Overview of Materials, Manufacturing, Testing, and Ballistic Impact Dynamics. NUWC- NPT Technical Report 12,057. Newport: Naval Undersea Warfare Center Division; 2011.
2. Luz FS, Lima Junior EP, Louro LHL, Monteiro SN. Ballistic Test of Multilayered Armor with Intermediate Epoxy Composite Reinforced wWith Jute Fabric. *Materials Research*. 2015;18(Suppl 2):170-177.
3. Medvedovski E. Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure. Part I. *Ceramics International*. 2010;36(7):2103- 2115.
4. Medvedovski E. Ballistic performance of armor ceramics: Influence of design and structure. Part 2. *Ceramics International*. 2010;36(7):2117- 2127.
5. Medvedovski E. Lightweight ceramic composite armor system. *Advances in Applied Ceramics*. 2006;105(5):241-245.



6. Louro LHL, Meyers MA. Effect of stress state and microstructural parameters on impact damage of alumina-based ceramics. *Journal of Materials Science*. 1989;24(7):2516-2532.
7. Coutinho FMB, Mello IL, Santa Maria LC. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. *Polímeros*. 2003;13(1):1-13.
8. Senatov FS, Gorshenkov MV, Tcherdyntsev VV, Kaloshkin SD, Sudarchikov VA. Fractographic analysis of composites based on ultra high molecular weight polyethylene. *Composites Part B: Engineering*. 2014; 56: 869-875.
9. Trindade W, Gomes AV, Louro LHL. Elaboração de uma Nova Rota de Eliminação de Ligante da Cerâmica de Alumina. *Revista Militar de Ciência & Tecnologia*. 2013;4:71-79.
10. Figueiredo ABS, Lima Júnior EP, Gomes AV, Melo GBMM, Monteiro SN, de Biasi RS. Response to ballistic impact of alumina-UHMWPE composites. *Materials Research*. 2018;21(5): e20170959.
11. Carlucci DE, Jacobson SS. *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*. Boca Raton: CRC; 2008. 496 p.
12. Azevedo G, Aragão JCT. *Apontamentos sobre Balística*. Rio de Janeiro; 2010.
13. Anderson CE Jr. Analytical models for penetration mechanics: A review. *International Journal of Impact Engineering*. 2017;108: 3-26.
14. Shokrieh MM, Javadpour GH. Penetration analysis of a projectile in ceramic composite armor. *Composite Structures*. 2008;82(2):269-276.
15. Backman ME, Goldsmith W. The mechanics of penetration of projectiles into targets. *International Journal of Engineering Science*. 1978;16(1):1-99.
16. Jonas GH, Zukas JA. Mechanics of penetration: Analysis and experiment. *International Journal of Engineering Science*. 1978;16(11):879-903.
17. Galindo-Rosales FJ, Rubio-Hernández FJ, Sevilla A. An apparent viscosity function for shear thickening fluids. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. 2011;166(5-6):321-325.
18. Ding J, Tracey PJ, Li W, Peng G, Whitten PG, Wallace GG. Review on shear thickening fluids and applications. *Textiles and Light Industrial Science and Technology*. 2013;2(4):161- 173.