

## Comportamento sob impacto balístico de um sistema compósito para blindagem

W. F. A. Júnior<sup>1</sup>, M. A. Santos<sup>1\*</sup>, F. L. Bastian<sup>2</sup>, J. C. M. Suarez<sup>3</sup>, A. L. V. Cardoso<sup>4</sup>, G. Q. Chaves<sup>4</sup>

<sup>1</sup>DEM-UFCG- Av. Aprígio Veloso, 882, Campina Grande, Paraíba, CEP-58103.

<sup>2</sup>Laboratório de Compósitos – PEMM- Centro de Tecnologia –UFRJ - Bloco F - Sala 210 - Caixa Postal 68505 - CEP 21949-900-Cidade Universitária – Rio de Janeiro.

<sup>3</sup>Instituto Militar de Engenharia (IME) – Praça General Tibúrcio 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro - RJ - CEP 22290-270.

<sup>4</sup>Centro Tecnológico do Exército (CTEx)- Av. das Américas, 28705, Guaratiba, CEP 23020-040, Rio de Janeiro.

(Recebido em 10/05/2006; revisado em 22/05/2006; aceito em 02/06/2006)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

### Resumo:

Uma das combinações de blindagem balística de maior eficiência é uma placa de cerâmica colada à uma placa dúctil. O uso de materiais na interface da cerâmica com a placa dúctil é um dos modos de otimização deste tipo de sistema. Neste trabalho, testes balísticos com munição do tipo 7,62mm (FMJ) foram realizados em compósitos de cerâmica de alumina (placa frontal de 8 mm de espessura)-polietileno de ultra-alto peso molecular (placa de apoio de 15 mm de espessura). Na interface entre as placas de cerâmica de alumina e polietileno de ultra-alto peso molecular foram usados materiais do tipo: feltro, borracha, adesivo Sika 255FC, espuma de poliuretano e policarbonato alveolar. As seguintes técnicas foram usadas com o objetivo de qualificar e quantificar o dano balístico sofrido pelos compósitos: medida de deflexão da placa dúctil e análise estereoscópica. Os compósitos com interface do tipo Sika 255, policarbonato alveolar e espuma de poliuretano foram completamente perfurados durante os testes balísticos. Já os com interface do tipo feltro e borracha apresentaram um comportamento bastante satisfatório, ou seja, não foram nem sequer penetrados. Portanto, o uso adequado de materiais na interface de um sistema de blindagem cerâmica – placa dúctil polimérica maximiza a capacidade de proteção balística, o que neste caso foi verificado para os compósitos com interface de feltro e de borracha.

**Palavras-chave:** Blindagem balística, compósitos, impacto balístico.

---

### Abstract:

The combination of a ceramic plate bonded to a ductile plate is one of the best solutions to ballistic protection. In the present work, five types of composite plates were developed for level III (7,62 mm FMJ) ballistic protection. In all cases, the alumina tile sample had an area of 45X45 mm<sup>2</sup> and thickness of 8 mm. The backup plate was made from an 8 mm thick ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE). For the interface the following materials were selected: felt, rubber, honeycomb polycarbonate, polyurethane foam and Sika 255 adhesive. The developed materials were subjected to ballistic tests and two techniques were used to quantify the resulting damage in the materials: deflection measurements and optical stereoscopic microscopy. The obtained results show that the use of the interface materials can be a way of optimizing the ballistic protection capacity of light composite armor systems. Two types of composite plates showed a very promising behavior: alumina ceramic tile + felt + UHMWPE and alumina ceramic tile + rubber + UHMWPE.

**Keywords:** Armor plates, composite materials, ballistic impact.

---

\* E-mail do autor: [santos@dem.ufcg.edu.br](mailto:santos@dem.ufcg.edu.br) (M. A. Santos)

## 1. Introdução

A tecnologia de blindagem é vital tanto no atual cenário da guerra moderna como no cenário de guerrilha urbana, que se alastra por diversas cidades ao redor do mundo. O crescente avanço das tecnologias, ligadas à produção de armamentos, vem criando armas e munições de grande poder destrutivo e alto impacto[1]. Surge, portanto, a necessidade de estudo e obtenção de tecnologia para fabricação de blindagens modernas, que possam assegurar às Forças Armadas e de Segurança a proteção adequada para o cumprimento de seus atributos.

As blindagens de materiais compósitos são hoje o que se tem de mais moderno e efetivo em termos de proteção balística[2]. Uma das combinações de grande eficiência contra munições perfurantes constitui-se em uma placa cerâmica colada a um laminado polimérico. Estes sistemas de blindagem tem alta rigidez e resistência específica, com significativa redução de

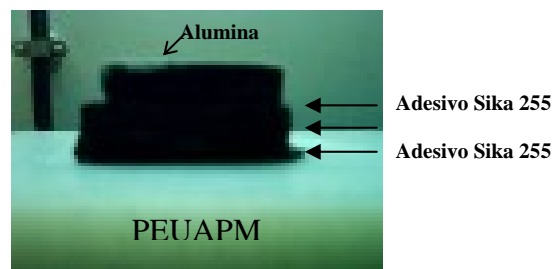
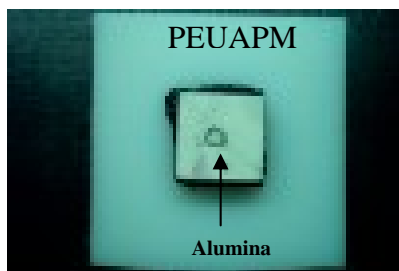


Figura 1 - Materiais componentes do compósito usado como blindagem.

peso. Pode-se citar como exemplo uma blindagem à base de alumina que é 5 vezes mais fina e 3 vezes mais leve do que a de aço[3].

A função da cerâmica em uma blindagem é fornecer um revestimento rígido, capaz de fragmentar e erodir a ponta do projétil, convertendo sua energia cinética em energia de fratura, diminuindo a quantidade de movimento e reduzindo a sua capacidade de penetração[4]. O laminado polimérico suporta a cerâmica e absorve a energia cinética residual do projétil e dos próprios fragmentos da cerâmica[5].

Uma das formas de otimizar uma blindagem compósita é trabalhando na sua interface, ou seja, colocando no espaço entre a cerâmica e a placa de retaguarda (laminado polimérico) diferentes tipos de materiais visando à atenuação da onda de tensão ou de choque gerada no impacto balístico e conseqüentemente menor transmissão da mesma para a placa de retaguarda, preservando a mesma de maiores danos[6,7].

O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento sob impacto balístico de um sistema compósito para blindagem quando se coloca na interface (espaço entre a

cerâmica e a placa de retaguarda) diferentes tipos de materiais.

## 2. Materiais e métodos

Os compósitos foram fabricados com uma placa de alumina fabricada pela NGK Indústria e Comércio Ltda com as dimensões 45 x 45 x 8 mm, uma placa de apoio de polietileno de ultra-alto peso molecular(PEUAPM) extrudada com as dimensões 150 x 150 x 15 mm, produzida pela AHM Indústria e Comércio Ltda, Figura 1. O adesivo, a base de poliuretano, escolhido para a colagem das cerâmicas nas interfaces e das interfaces na placa de apoio foi o Sika 255 FC, utilizando-se procedimentos recomendados pelo fabricante.

Usou-se o ativador químico Sika 210 antes da aplicação do adesivo Sika 255 para melhorar a adesividade entre os diversos tipos de materiais para a interface. Foram selecionados e testados 5 diferentes

materiais de interface entre a cerâmica e a placa de PEUAPM:

- Policarbonato alveolar (corpo de prova tipo PC)
- Adesivo Sika 255 (corpo de prova tipo Sika)
- Feltro (corpo de prova tipo Feltro)
- Borracha (corpo de prova tipo Borr)
- Espuma de poliuretano(corpo de prova tipo PU)

Todas as interfaces tinham as dimensões 50 x 50 x 10 mm. No compósito tipo Sika a cerâmica foi colada diretamente na placa de retaguarda. Fabricaram-se quatro amostras para cada tipo de corpo de prova. Todos os compósitos foram envolvidos por um invólucro de Kevlar, para a retenção dos fragmentos cerâmicos.

Os ensaios balísticos de todos os compósitos foram realizados no Campo de Provas da Marambaia, do Centro Tecnológico do Exército, utilizando-se uma bancada para ensaios. A bancada continha um cronógrafo, um sistema de barreiras óticas para medição da velocidade do projétil e um provete de tiro fixo, de onde é disparado o projétil. Utilizou-se a munição do tipo 7,62 mm comum ou FMJ (projétil com núcleo de chumbo), fabricada pela Companhia Brasileira de

Cartuchos. As velocidades das munições utilizadas durante os testes estavam dentro da faixa de  $838 \pm 15$  m/s.

Para observar a morfologia de dano nas diversas regiões percorridas pelos projéteis, os compósitos impactados foram seccionados com uma serra manual e, após o corte, limpos com álcool em uma cuba de ultrassom. Utilizou-se um microscópio estereoscópico acoplado à uma câmera digital, para a análise dos danos sofridos pelos corpos de prova. A deflexão dos corpos de prova não perfurados foi medida através de um paquímetro de mesa.

com o mecanismo de absorção de energia proposto por Wilkins[4] para placas dúcteis metálicas quando são impactadas diretamente por projéteis de formato esférico, conhecido como “Bulge” ou abaulamento. O “Bulge” ou abaulamento se caracteriza por inicialmente o alvo tomar a forma do projétil, causando grandes tensões no lado oposto ao impacto no eixo de simetria.

Mediu-se a altura do ponto mais alto do abaulamento das placas de apoio de PEUAPM dos compósitos (não penetrados) com interface de feltro e de borracha respectivamente. Os resultados estão na Tabela 1.

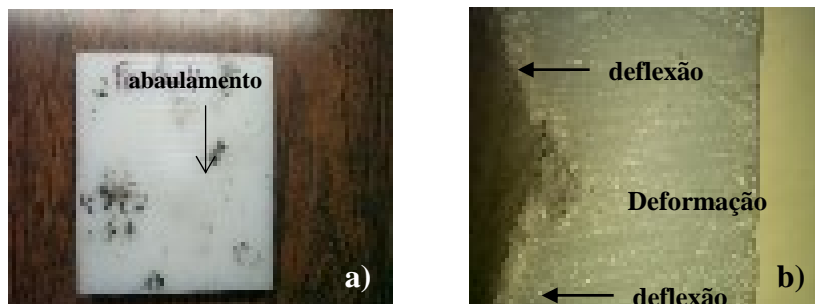


Figura 2 - Placa de PEUAPM do compósito tipo Feltro: a) vista posterior e b) corte transversal da área correspondente ao ponto do impacto.

### 3. Resultados e discussão

Dos compósitos estudados, os que apresentaram melhor performance para blindagens foram as configurações que continham como material de interface o feltro e a borracha. Em ambas as configurações, as respectivas placas de PEUAPM não sofreram perfuração, na verdade não sofreram nem ao menos penetração e sim apenas deflexão e abaulamento no ponto de impacto como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

Não se encontrou na literatura técnica referência sobre o comportamento sob impacto balístico de uma placa de PEUAPM, entretanto, notou-se uma semelhança

Tabela 1 - Medida da deflexão dos compósitos não penetrados

Material da interface	Deflexão máxima (mm)
Borracha	3,6
Feltro	6,1

A placa de apoio do compósito com interface de feltro defletiu mais do que a placa de apoio do compósito com interface de Borracha.

Os compósitos com interface de policarbonato alveolar, adesivo Sika 255 e espuma de poliuretano foram completamente perfurados durante os testes

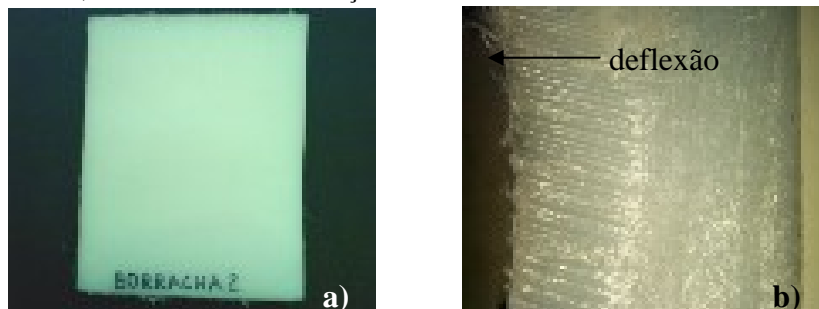


Figura 3 - Placa de PEUAPM do compósito tipo Borr: a) vista posterior e b) corte transversal da área correspondente ao ponto do impacto.

balísticos. As placas de PEUAPM destes compósitos foram completamente perfuradas, Figura 4.

Como pode ser observado nas Figuras 4(a),(b) e (c), as placas de PEUAPM externamente apresentaram dano balístico semelhante, caracterizado pela formação da fratura do tipo Pétala no ponto de impacto.

O mecanismo de fratura tipo Pétala é característico em impactos de placas dúcteis metálicas quando são

diretamente impactadas por projéteis de formato esférico. Inicialmente, o alvo toma a forma do projétil de formato esférico, fenômeno conhecido como abaulamento, causando grandes tensões no lado oposto ao impacto no eixo de simetria e fazendo com que a fratura se propague no eixo de simetria e radialmente através da espessura, causando uma fratura com aparência de pétala com formato triangular e

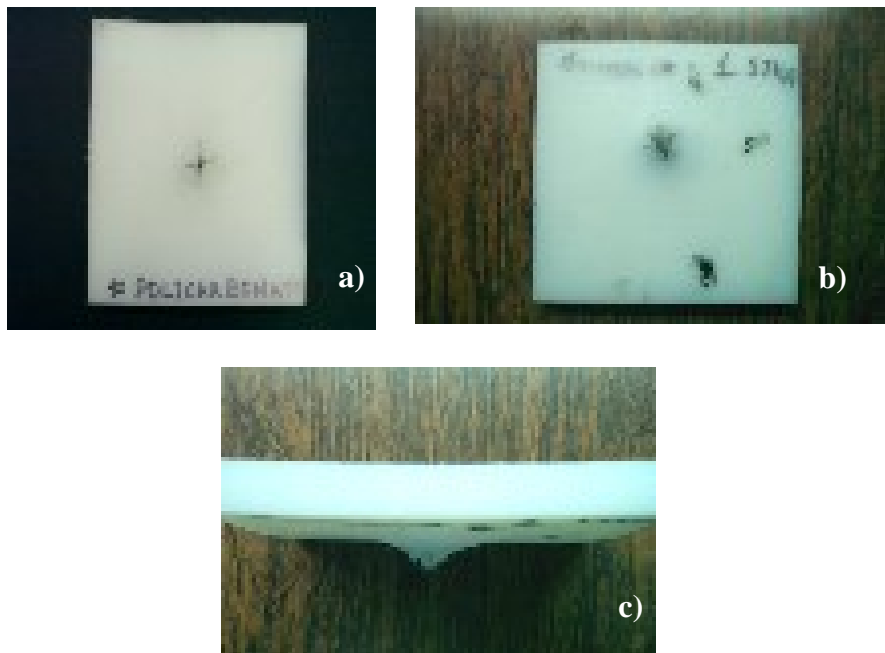


Figura 4-Placas de PEUAPM dos compósitos (a)tipo PC, (b)tipo Sika e (c) tipo PU.

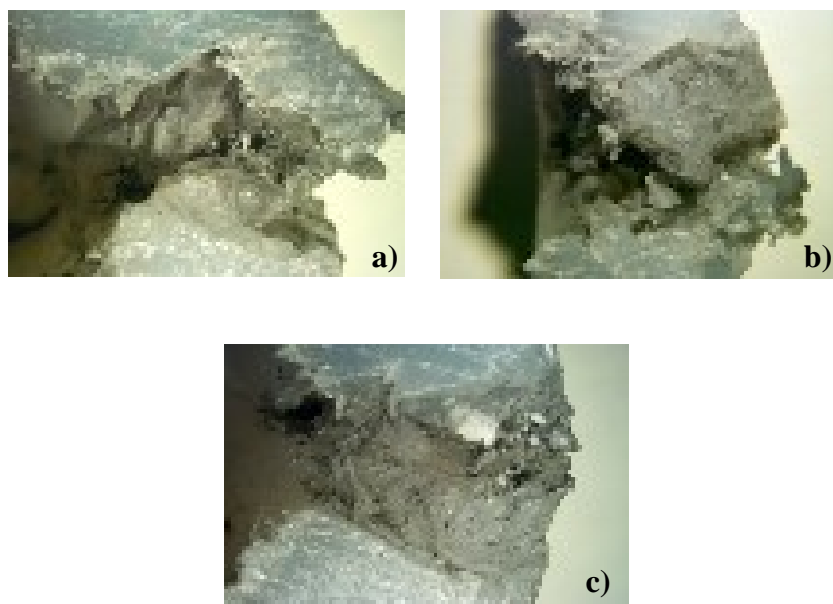


Figura 5- Dano interno sofrido pelas placas de PEUAPM dos compósitos (a)tipo PC, (b)tipo Sika e (c) tipo PU.

tridimensional[8].

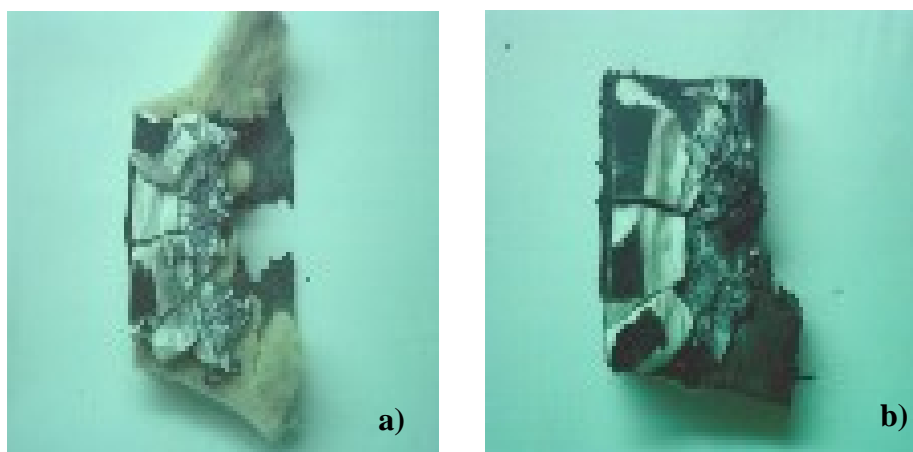


Figura 6 - Cerâmicas dos compósitos (a)tipo Feltro e (b)tipo Borr.

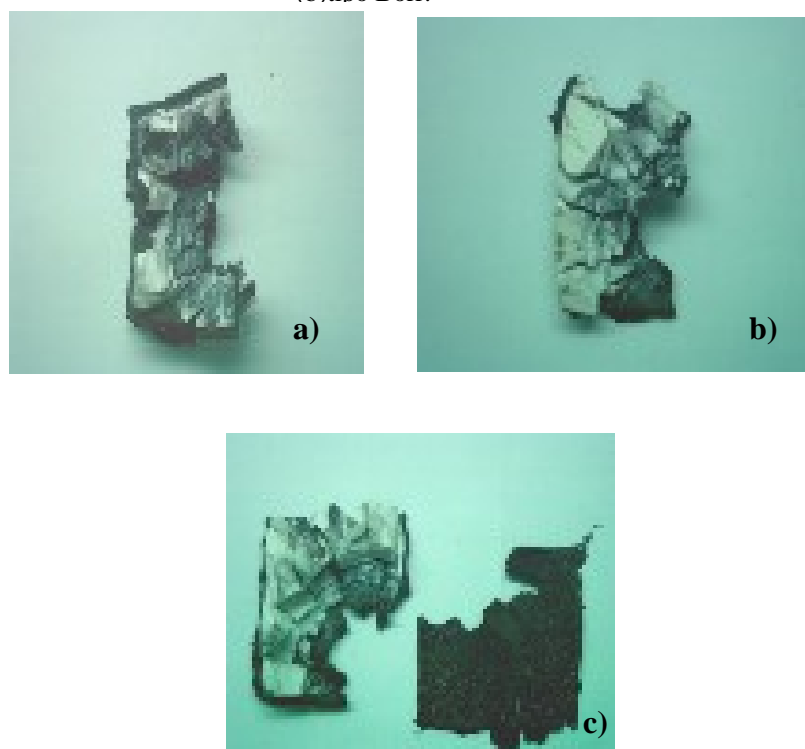


Figura 7 – Cerâmicas dos compósitos (a)tipo PC, (b)tipo Sika e (c) tipo PU.

Todas as placas de PEUAPM destes compósitos foram seccionadas e o dano interno(corte transversal da área de impacto) foi analisado, Figura 5.

Como pode ser observado nas Figuras 5(a),(b) e (c), as placas de PEUAPM apresentaram dano interno semelhante; basicamente o caminho percorrido pelo projétil através da espessura foi totalmente fundido.

Na Figura 6 observa-se a fratura após o impacto balístico das cerâmicas dos compósitos com interface de feltro e com interface de borracha.

Sherman[9] conclui que impactos balísticos com velocidades intermediárias (700 a 3000 m/s) causam danos que são uma combinação de dano quase-estático e dano dinâmico. Nas cerâmicas (de alumina) o dano quase-estático é caracterizado por trincas radiais devido

a flexão e a formação do cone de fratura. E o dano dinâmico, causado pela interação das ondas refletidas pelas interfaces da cerâmica, caracterizado por trincas circunferências (“spall”) e um grande número de fragmentos de pequeno tamanho e pós ao redor do ponto

Na Figura 7(a), a cerâmica do compósito tipo PC sofreu um estilhaçamento completo. Na Figura 7(b) a cerâmica do compósito tipo Sika apresentou trincas radiais, no ponto de impacto pequenos fragmentos e trincas circunferenciais próximas e afastadas do ponto de

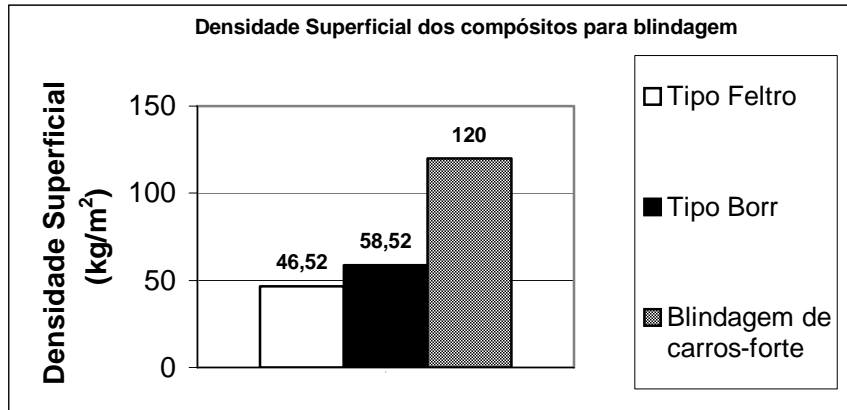


Figura 8 – Densidade Superficial dos compósitos para blindagem.

de impacto (fratura tridimensional).

Na Figura 6(a) observam-se trincas radiais e no ponto de impacto, pequenos fragmentos. Nota-se a presença, tanto nas proximidades como distante do ponto de impacto, de trincas circunferências. Já na Figura 6(b) observam-se trincas radiais, grandes fragmentos devido a flexão da placa e a presença de trincas circunferências próximas ao ponto de impacto. A borracha como material de interface no compósito para blindagem aparentemente limitou a flexão da placa cerâmica e, portanto, controlou a formação de trincas radiais.

impacto. Na Figura 7(c) a cerâmica do compósito tipo PU apresentou grandes trincas radiais e grandes fragmentos formados devido à flexão da placa e no ponto de impacto, pequenos fragmentos. Nota-se a presença de trincas circunferenciais próximas ao ponto de impacto.

Na análise das superfícies de fratura das cerâmicas não foi possível correlacionar a presença e a forma de distribuição das trincas radiais e circunferenciais com a diferença de comportamento balístico entre os compósitos para blindagem ensaiados.

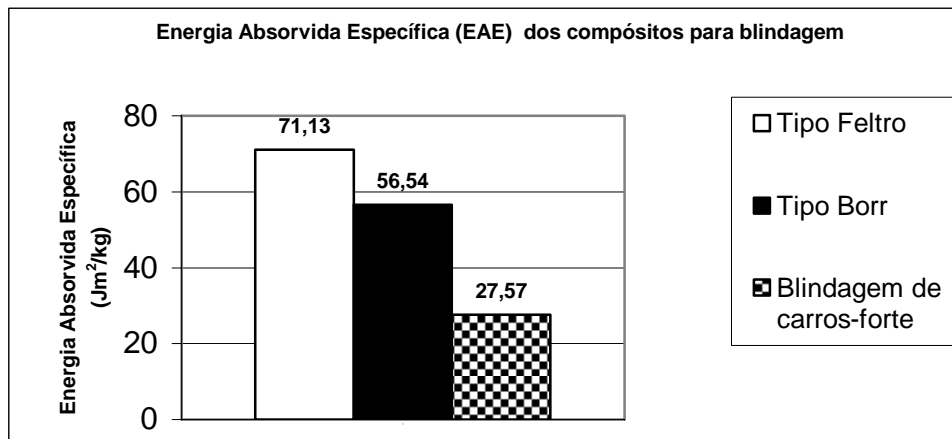


Figura 9– Energia Absorvida Específica dos compósitos para blindagem.

Na Figura 7 observa-se a fratura após o impacto balístico das cerâmicas dos compósitos com interface de policarbonato alveolar, adesivo Sika 255 e espuma de poliuretano.

As Figuras 8 e 9 apresentam a Densidade Superficial (medida de densidade por área de um corpo em kg/m<sup>2</sup>) e a Energia Absorvida Específica (razão entre a energia cinética dispensada pelo projétil, em Joule (J), e a Densidade Superficial, em kg/m<sup>2</sup>, possuindo a unidade

Jm<sup>2</sup>/kg) dos sistemas compósitos desenvolvidos (tipo Feltro e Borr) e as blindagens usadas em carro forte (com Nível III de proteção balística), formada por um composto de aço e borracha balística.

#### 4. Conclusões

O uso adequado de materiais na interface de um sistema de blindagem cerâmica – placa dúctil polimérica pode maximizar a sua capacidade de proteção balística.

Os compósitos tipo Feltro e tipo Borr apresentaram o melhor desempenho balístico.

Na análise das superfícies de fratura das cerâmicas não foi possível correlacionar a presença e a forma de distribuição das trincas radiais e circunferenciais com a diferença de comportamento balístico entre os compósitos para blindagem ensaiados.

O compósito do tipo Feltro é 25 % mais leve, possui um EAE 25% maior do que o compósito tipo Borr.

A comparação dos compósitos que apresentaram melhor desempenho balístico (com interface de feltro e borracha) com compósitos atualmente utilizados em blindagens de carros-forte mostra que os compósitos desenvolvidos apresentam vantagens comparativas que justificam acreditar no potencial comercial dos mesmos.

#### 5. Referências

- [1] Cardoso, A. L. V. et al. A evolução das blindagens para viaturas militares de reconhecimento, In: ETQM, 2000, Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio de Janeiro.
- [2] Ajdelsztajn, L. Comportamento de placas de material compósito submetidas à impactos balísticos, In: 13<sup>a</sup> CBECIMAT, VI SEMEL, 1998 .
- [3] Gonçalves, D. P.; Melo, F. C. Lourenço. Blindagem para aeronaves, In: ETQM, 1999, Instituto de Pesquisa da Marinha, Rio de Janeiro
- [4] Wilkins, M. L. Mechanics of Penetration and Perforation. Int. J. Eng. Sci., v. 16, p. 793-807, 1978.
- [5] Sherman, D.; Brandon, D. G. The ballistic failure mechanism and sequence in semi-infinite supported alumina tiles. J. Mater. Res., v. 12, n.5, p.1335-1343, mai, 1997.
- [6] Gama, B. A. Et al. Aluminum foam integral armor: a new dimension in armor design. Composite Structures, v. 52, p. 381-395, 2001.
- [7] Gama, B. A.; Gillespie, J. W. JR. Study of through-thickness wave propagation in multi-layer hybrid lightweight armor. Proceedings of the 13th Annual Technical Conference of the American Society for Composites. Set. 21-23, 1998, Baltimore, MD.
- [8] Meyers, M. A. Dynamic Behavior of Materials. New York : Wiley Interscience Publication, 1994, 668 p.
- [9] Sherman, D. Impact failure mechanisms in alumina tiles on finite thickness support and the effect of confinement. International Journal of Impact Engineering, v. 24, p. 313-328, 2000.