

# COMPORTAMENTO DE COMPÓSITO DE MATRIZ EPOXÍDICA REFORÇADA COM ARAMIDA: EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA <sup>(1)</sup>

Viviane Vivas <sup>(2)</sup>

Marcelo Belmiro Gomes de Souto <sup>(2)</sup>

João Carlos Miguez Suarez <sup>(3)</sup>

## Resumo

Fibras e tecidos têm sido usados mundialmente, desde a década de 1970, como materiais de reforço em compósitos de matriz polimérica (PMCs). Estes compósitos reforçados com fibras, que são considerados excelentes materiais de engenharia, vem sendo utilizados em diversas aplicações que variam desde produtos simples, esportivos e de recreação, até estruturas mais sofisticadas em aplicações civis e militares. Materiais poliméricos, tais como poliéster, poliamida, aramida, polietileno e resina epoxídica, vem sendo largamente utilizados na indústria de material bélico. Os materiais têxteis são empregados, desde a 2<sup>a</sup> Guerra Mundial, como blindagens balísticas, flexíveis ou rígidas. As resinas epoxídicas apresentam excelentes características de engenharia, permitindo que compósitos de matriz epoxídica reforçada com materiais poliméricos sejam empregados na produção de blindagens balísticas, quer em proteção pessoal, quer em veículos. Todavia, estes compósitos podem apresentar, quando expostos aos agentes ambientais, alterações estruturais nas cadeias da matriz polimérica, o que, freqüentemente, modifica as propriedades tecnológicas destes materiais. No presente trabalho foi estudado o comportamento mecânico e balístico de placas compósitas de matriz epoxídica reforçada com tecido de aramida, após exposição à radiação gama. O material foi avaliado por meio de ensaios mecânicos (dureza, tração, impacto e flexão) e físico-químicos (espectroscopia no infravermelho e análise termogravimétrica). Foi verificado que a irradiação gama produz modificações nas cadeias macromoleculares da matriz, modificando as propriedades mecânicas do compósito e alterando o seu desempenho balístico. Estes resultados são apresentados e discutidos.

**Palavras-chave:** Compósito; Resina epoxídica; Aramida; Irradiação gama

<sup>1</sup> Trabalho técnico para apresentação no 60<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, a ser realizado em Belo Horizonte, MG, no período de 25 a 28 de julho de 2005.

<sup>2</sup> Engenheiro, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

<sup>3</sup> Sócio da ABM, Engenheiro e Doutor em Ciências, Professor Emérito, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

## INTRODUÇÃO

Materiais compósitos de matriz polimérica (PMCs) reforçados com fibras ou tecidos são considerados excelentes materiais de engenharia e substituem, com sucesso, diversos outros materiais convencionais. Os PMCs vem sendo utilizados em diversas aplicações que variam desde produtos simples, esportivos e de recreação, até estruturas mais sofisticadas para aplicações civis e militares. Materiais poliméricos, tais como poliéster, poliamida, aramida, polietileno etc, são usados, desde a 2ª Guerra Mundial, em equipamentos militares, e o seu emprego tem aumentado ao longo dos anos, especialmente na produção de materiais compósitos para blindagens balísticas. A tendência atual nos projetos de blindagens está direcionada para uma melhor relação proteção/peso e, para atender aos atuais requisitos estruturais e de proteção dos equipamentos militares, novos PMCs estão sendo desenvolvidos com uma economia no peso total entre 30 e 40%, em face de uma melhor relação resistência/peso [1].

A despeito das vantagens apresentadas existem dúvidas em relação ao desempenho dos PMCs ao longo do tempo, pois estes materiais podem apresentar, quando expostos aos agentes ambientais (umidade, calor, radiações ionizantes, ciclamento térmico, fadiga mecânica etc), alterações estruturais que, freqüentemente, modificam as suas propriedades tecnológicas. Estudos realizados têm mostrado que os PMCs apresentam mecanismos de degradação complexos, função do tipo de material em análise. A degradação pode ter como causa alterações estruturais que ocorrem no reforço, na matriz ou na interface matriz/reforço, mas é resultante, principalmente, de modificações que ocorrem na matriz polimérica [2-4].

As resinas epoxídicas apresentam excelentes características de comportamento mecânico, isolamento elétrico e de adesão. Compósitos de matriz epoxídica reforçados com fibras ou tecidos são empregados na produção de blindagens balísticas, tanto para a proteção pessoal (coletes e capacetes), como em veículos de uso militar e civil [5-8]. Todavia, o desempenho balístico desses materiais, após sua exposição aos agentes ambientais, não é, normalmente, divulgado pelos fabricantes dos mesmos. Em conseqüência é interessante a realização de estudos visando desenvolver técnicas que permitam a caracterização do desempenho de blindagens ao longo de sua vida útil.

No presente trabalho foi estudado o comportamento balístico de placas compósitas de matriz epoxídica reforçada com tecido de aramida, após irradiação gama. A influência da exposição à radiação no desempenho balístico do compósito foi analisada com o auxílio de ensaios mecânicos e físico-químicos. Foi verificado que a irradiação produz modificações nas cadeias macromoleculares do polímero, alterando as propriedades mecânicas e o comportamento balístico do compósito.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi estudado um material compósito de matriz polimérica reforçada com tecido de aramida, para ser empregado como blindagem classe II conforme a norma NIJ Std 0108.01 [9]. A matriz é formada por uma mistura de duas resinas epoxídicas a base de diglicidil éter do bisfenol-A (DGEBA) e epicloridrina, DER 324 e DER 383 (3:1, em peso), a qual adiciona-se o agente de cura (endurecedor) DEH 24, na razão, em peso, de 100:13. As propriedades comerciais dos componentes, fornecidos pela empresa Dow Química S.A. (São Paulo, SP), estão apresentadas na **Tabela 1** [10]. As características experimentais do reforço, tecido de aramida

produzido com a fibra tipo Twaron® 1000 (Akzo Nobel N.V., Arnhem, Holanda), estão apresentadas na **Tabela 2** [11].

O compósito estudado, placas quadradas de 300 mm de lado e 10 mm de espessura, foi fabricado, por laminação manual (*hand layup*), com 16 camadas de tecido de aramida dispostas cruzadas na orientação 0°/90°. O material foi curado, na temperatura ambiente, em bolsa de vácuo (~700 mmHg) por 48 horas, sem pressão.

**Tabela 1.** Propriedades dos componentes do sistema epóxi [10]

Propriedade	DER 324	DER 383	DEH 24
Peso equivalente em epoxi	195 ~ 204	176 ~ 183	-
Peso equivalente em hidrogênio livre	-	-	24,4
Viscosidade cinemática à 25°C (mPa.s)	600~800	9000~10500	19,5 ~ 22,5
Densidade à 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	1,12	1,16	0,97 ~ 0,98

**Tabela 2.** Características do tecido de aramida Twaron® 1000 [11]

Característica	Norma de ensaio	Valor	
Título (densidade linear) da fibra (dtex)	Catálogo comercial Akzo Nobel / Twaron	3360	
Número de filamentos da fibra		2000	
Densidade (fios/cm)	ASTM D3775/1996	Urdume	7
		Trama	7
Espessura (mm)	ISO 5084/1996	0,67	
Gramatura (g/mm <sup>2</sup> )	ASTM D3776/1996	488,34	
Armação	ISO 7211/1984 Parte 1	Tela	
Resistência à tração (kgf)	ASTM D5034/1995	Urdume	>305,16
		Trama	>373,64
Alongamento (%)	ASTM 5034/1995	Urdume	14,66
		Trama	27,73

A irradiação gama foi realizada ao ar em um equipamento com uma fonte de <sup>137</sup>Cs, em uma taxa de dose de 2,0 kGy/h, tendo recebido as doses de 100 e 250 kGy. Estes valores foram escolhidos considerando que um compósito de matriz epoxídica reforçada com fibra de vidro apresenta, quando irradiado na faixa de doses entre 0 kGy e 500 kGy, um aumento na sua resistência mecânica em flexão [12].

As placas compósitas foram caracterizadas, antes e após irradiação, por meio de ensaios mecânicos (dureza, tração, impacto e flexão) e submetidas a ensaio balístico. Para os ensaios de tração, impacto e flexão foram confeccionados, para cada condição das placas compósitas, dois conjuntos de corpos de prova, um transversal ao outro. As modificações induzidas na estrutura da matriz epoxídica, antes e após a exposição das amostras à radiação gama, foram analisadas por meio de ensaios físico-químicos (espectroscopia no infravermelho e análise termogravimétrica).

O ensaio de dureza Rockwell foi realizado em um durômetro marca Pantec modelo RBS segundo a norma ASTM D785 [13], utilizando-se a escala R (60 kg e esfera de aço de 12,7mm). Foram realizadas 5 impressões em cada placa.

O ensaio de tração foi realizado à temperatura ambiente, em uma máquina universal de ensaios marca Amsler, segundo a norma ASTM D3039M [14] com modificações. Foram ensaiados corpos de prova com dimensões de 250 mm x 25 mm x 10 mm, extraídos das placas por corte mecânico a frio. Foram testados 6 corpos de prova, por condição e sentido, determinando-se, para cada um, a resistência à tração. A velocidade de ensaio, controlada manualmente, foi de, aproximadamente, 2 mm/min.

O ensaio de impacto foi realizado conforme a norma ASTM D5942 [15], na temperatura ambiente, em uma máquina pendular de ensaio, marca Panambra, modelo PW 30/15R, sistema Woldpert-Amsler, com capacidade máxima de 300 J. Corpos de prova tipo Charpy sem entalhe, com 80mm x 10mm x 10 mm, foram produzidos, por corte mecânico, a partir das placas. Foram testados, para cada condição e sentido, nove corpos de prova na configuração "impacto na superfície do compósito" (*flatwise*). Foi determinada uma energia específica (energia por unidade de área), considerada igual à energia absorvida na deformação por impacto do corpo de prova dividida pela sua área resistente. Este procedimento foi realizado visando a obtenção de um valor comparativo para a resistência ao impacto das placas compósitas, pois, devido à elevada tenacidade do material, não ocorre o rompimento dos corpos de prova.

O ensaio de flexão em 3 pontos foi executado, segundo a norma ASTM D790M [16], em uma máquina universal de ensaios marca Emic, modelo DL10000. Foram retirados das placas, por corte, corpos de prova nas dimensões de 200 mm x 10 mm x 10 mm. Foram testados, para cada condição e sentido, seis corpos de prova, na velocidade de ensaio de 4,30 mm/min, determinando-se, para cada um, a tensão máxima para 5% de deformação e o módulo de elasticidade.

A espectroscopia no infravermelho (FTIR) foi executada em um espectrômetro Perkin-Elmer, modelo 1720x, na região entre 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , empregando-se a técnica de reflectância difusa (DRIFT). As amostras para o ensaio foram obtidas por raspagem da resina em cada face da placa compósita; frontal, a que recebe o impacto balístico, e distal, a do lado oposto ao impacto. O espectro, processado em um gerenciador de dados Perkin-Elmer (IRDM), foi determinado com resolução de 2  $\text{cm}^{-1}$  e 50 varreduras em cada ensaio. Os espectros de IR foram analisados considerando a variação ocorrida na intensidade de duas absorções características da resina epoxídica, grupo metilênico,  $\text{CH}_2$ , (3050  $\text{cm}^{-1}$ ) e grupo metila,  $\text{CH}_3$ , (1460  $\text{cm}^{-1}$ ) [17,18]. Os resultados de absorbância foram convertidos para unidades KM (Kubelka-Munck).

A análise termogravimétrica (TGA) foi realizada em um equipamento Shimadzu modelo TGA-50, dispondo de um par termoeletrico de cromel-alumel. A calibração do termopar foi realizada com alumel ( $T_m = 163^\circ\text{C}$ ), níquel ( $T_m = 354^\circ\text{C}$ ) e perkalloy ( $T_m = 596^\circ\text{C}$ ). As amostras, pesando entre 1,3 mg e 2,2 mg, foram colocadas em cadinhos de platina e aquecidas, sob nitrogênio, de  $30^\circ\text{C}$  até  $700^\circ\text{C}$ , na velocidade de  $20^\circ\text{C}/\text{min}$ . Foi determinada a temperatura de início da perda de massa (*onset*) para cada condição das amostras do compósito.

O ensaio balístico foi executado com munição de 9mm FMJ, projétil com massa de 8,0g, na velocidade de  $358\pm 12$  m/s, conforme o previsto na norma NIJ Std 0108.01 [9]. Foi testada uma placa por condição, cada uma submetida a 5 impactos. A avaliação do desempenho balístico foi realizada considerando a ocorrência ou não de perfuração da blindagem e pela determinação dos danos produzidos no

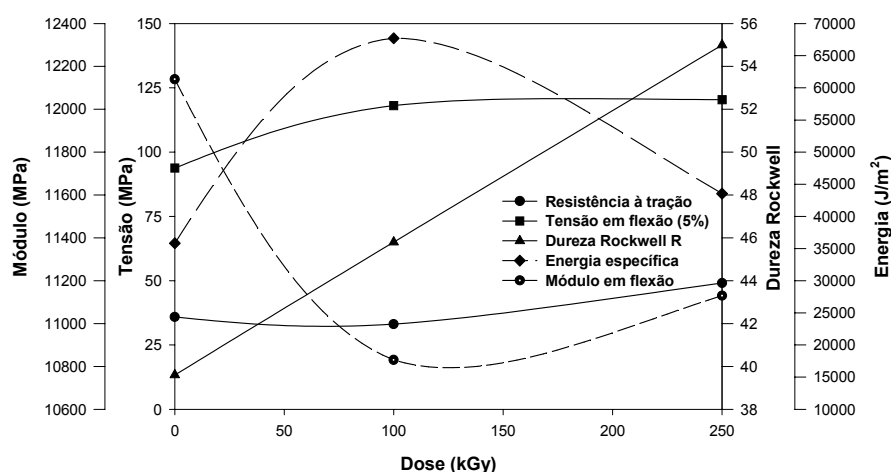
compósito pelo impacto balístico. No trabalho foi estabelecido que uma perfuração ocorre quando o projétil ou a maior parte dele passa completamente pela blindagem [19]. Os danos produzidos foram avaliados por meio de exame visual, onde se procurou identificar os mecanismos de deformação e de falha apresentados pelo compósito.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Ensaio mecânicos

Os valores das propriedades determinadas nos ensaios de tração, impacto e flexão, apresentaram uma variação muito pequena em relação ao sentido de retirada dos corpos de prova, longitudinal ou transversal, mostrando que o processo de fabricação das placas permitiu a obtenção de um material praticamente ortotrópico.

A **Figura 1** apresenta o valor médio das propriedades mecânicas, calculado independentemente do sentido de extração dos corpos de prova.



**Figura 1.** Propriedades mecânicas médias do compósito, antes e após irradiação

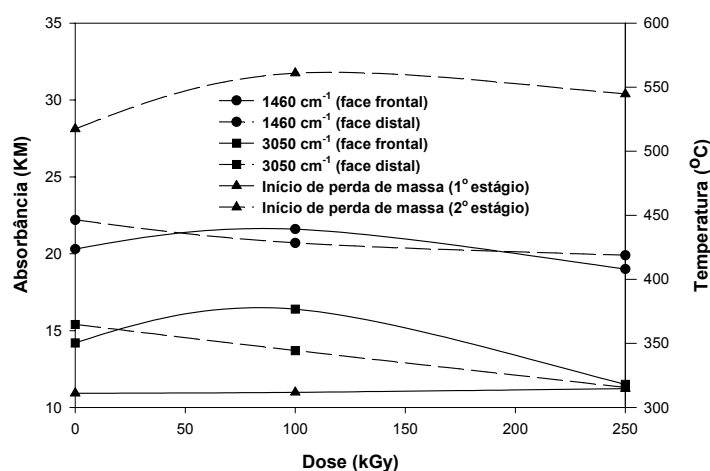
Observa-se que as propriedades mecânicas são modificadas pela exposição à radiação gama e variam com o aumento da dose de radiação. As amostras apresentam, após irradiação, aumento na dureza e na resistência mecânica, em tração e em flexão. Todavia, verifica-se que o comportamento sob impacto do material irradiado não apresenta uma variação coerente com a dureza, pois as amostras irradiadas, especialmente a "Irradiada com 100 kGy", mais duras, apresentam, em relação ao material "Como recebido", de menor dureza, uma maior energia específica, ou seja, melhor tenacidade. Um comportamento semelhante é observado quando se compara o módulo de elasticidade sob flexão da amostra "Como recebido" com as irradiadas, pois materiais mais macios devem ter menor rigidez.

Este comportamento mecânico pode ser interpretado considerando que a matriz do compósito é modificada pela exposição à radiação gama [20,21]. A irradiação do compósito, ao produzir, na resina epoxídica, cisão de cadeias e reticulação, reduz as ligações químicas responsáveis pela união da matriz com o reforço. Em conseqüência, reduz a compatibilização da matriz epoxídica com a fibra de aramida, o que diminui a adesão entre a matriz e a fibra, facilitando a separação das mesmas e reduzindo a resistência na interface, tornando mais provável a

ocorrência de delaminação no compósito. Dessa maneira ocorre uma melhoria na tenacidade do compósito, pois a energia de impacto é absorvida pela propagação de trincas ao longo das interfaces.

### Ensaio físico-químico

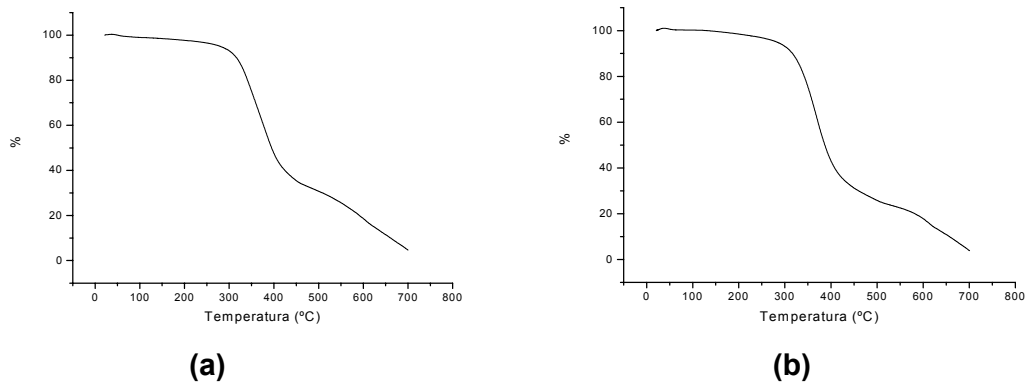
Os parâmetros físico-químicos, variação da absorbância em vibrações características da resina epoxídica, determinada por espectroscopia no infravermelho (FTIR), e as temperaturas de início da perda de massa, determinada por análise termogravimétrica (TGA), estão apresentados na **Figura 2**, em função da dose de radiação gama.



**Figura 2.** Parâmetros físico-químicos da resina epoxídica, antes e após irradiação.

A variação observada na intensidade das bandas indica que o material está apresentando modificações estruturais relacionadas com a reticulação das cadeias poliméricas [22,23]. A menor absorbância das amostras irradiadas mostra que pode ter ocorrido absorção de oxigênio atmosférico. Esta redução na absorbância sugere que a irradiação gama produziu uma cura adicional da resina epoxídica e, em consequência, uma maior reticulação, aumentando, dessa maneira, a dureza e a resistência mecânica do compósito.

Curvas típicas obtidas por TGA, antes e após irradiação, estão apresentados na **Figura 3**, mostrando que a degradação da resina epoxídica estudada ocorre em dois estágios. Observa-se que o aspecto dos termogramas é bastante similar, sugerindo que a exposição à radiação gama, na faixa de doses estudada, não modifica significativamente a estrutura da resina. Todavia, verifica-se que nas amostras irradiadas ocorre um pequeno retardo nas temperaturas de início e de fim da variação de massa (**Figura 2**), mais pronunciado no 2º estágio de degradação, indicando que as amostras irradiadas apresentam, em relação à “Como recebido”, uma maior estabilidade térmica [24]. Verifica-se, ainda, que o compósito, que “Como recebido” é amarelo, cor típica da fibra de aramida, apresenta, após irradiação, um escurecimento, que é mais acentuado na dose de 250 kGy. Estas variações podem ser atribuídas a uma cura adicional da resina epoxídica produzida pela irradiação gama ao ar, confirmando o sugerido na discussão dos resultados da espectroscopia no infravermelho.



**Figura 3.** Curvas calorimétricas típicas da resina epoxídica: (a) Como recebido; (b) Irradiada com 250 kGy

Estes resultados mostram que o comportamento mecânico do compósito foi influenciado pelas alterações moleculares induzidas, pela irradiação gama, na matriz.

#### **Ensaio balístico**

Os resultados do ensaio balístico mostraram que as placas “Como recebido” foram parcialmente penetradas, 3 perfurações em 5 tiros, enquanto que as irradiadas não apresentaram perfuração. Foi verificado, no exame visual realizado após o ensaio, que as placas, mesmo quando não perfuradas, apresentam danos.

A delaminação foi o principal mecanismo de absorção de energia, tendo ocorrido para todas as condições das placas, mas, principalmente, na placa “Irradiada com 250 kGy” (**Figura 4**).



**Figura 4.** Vista das placas após ensaio balístico: (a) como recebido; (b) irradiada com 250 kGy; observa-se a delaminação resultante dos impactos

Foi observado, ainda, que as placas “Como recebido” e “Irradiada com 100 kGy” apresentaram trincas na matriz epoxídica - o que não aconteceu na “Irradiada com 250 kGy” - e que, para todas as condições, não ocorreu trincamento na fibra de aramida.

Os comportamentos mecânico e balístico do compósito podem ser associados ao comportamento físico-químico da matriz polimérica. As modificações estruturais que ocorrem na resina epoxídica induzem um decréscimo na capacidade de adesão matriz-fibra, facilitando a delaminação das camadas do compósito, melhorando,

desta maneira, a sua tenacidade e, em conseqüência, o desempenho balístico da blindagem [25-27].

## CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite apresentar as seguintes conclusões:

1. A metodologia utilizada é adequada para se avaliar o efeito de agentes ambientais, em especial a radiação gama, no comportamento balístico de blindagens compósitas de matriz epoxídica reforçada com tecido de aramida.
2. A exposição à radiação gama, em doses de até 250 kGy, pode melhorar o desempenho balístico do compósito de matriz epoxídica reforçada com tecido de aramida.
3. Os processos de deformação e fratura do compósito, tanto nos ensaios estáticos, como nos dinâmicos, estão associados, predominantemente, com a separação da interface matriz epoxídica / fibra de aramida.
4. A blindagem compósita deve ser submetida a um controle de qualidade periódico, tendo em vista que o seu desempenho balístico, ao longo do tempo, pode ser modificado, pois a matriz polimérica pode apresentar degradação quando exposta aos agentes ambientais.
5. O material estudado, compósito de matriz epoxídica reforçada com 16 camadas de tecido de aramida, é adequado para ser empregado como blindagem classe II segundo a norma NIJ 0108.01.

## Agradecimentos

Os autores agradecem às agências financiadoras FAPERJ, CNPq e CAPES e, pelo fornecimento das resinas, à Dow Química S.A.

## REFERÊNCIAS

1. CHIN, E.S.C. Army focused research team on functionally graded armor composites. **Materials Science and Engineering**, v. A259, p. 155-161, 1999.
2. PENN, L.S.; LIAO, T.K., Studies on bonding at aramid-epoxy interface. **Compos. Tech. Review**, v. 6, n. 3, p. 133-140, 1984.
3. COLLINGS, T.A.; HARVEY, R.J.; DALZIEL, A.W. The use of elevated temperature in the structural testing of FRP components for simulating the effects of hot and wet environmental exposure. **Composites**, v. 24, n. 8, p. 625-634, 1993.
4. STARTSEV, O.V.; KROTOV, A.S.; GOLUB, P.D. Effect of climatic and radiation ageing on properties of VPS-7 glass fibre reinforced epoxy composite. **Polym. Deg. Stab.**, v. 63, p. 353-358, 1999.
5. OGORKIEWICZ, R.M. Plastics in the design of military equipment. **The Engineer**, v.215, p. 753-755, 1963.
6. ROBERTS, J. The use of fibre reinforced composite materials in land systems equipment. In: DEFENCE COMPONENTS AND EQUIPMENT EXHIBITION, 1985, London. Session New Materials.
7. MIGUEZ SUAREZ, J.C. Materiais para uso em blindagens de carros de combate e em proteção individual. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 4, p. 46-60, 1986.
8. SAVAGE, G.M. Fabric and fibre reinforced laminate composites. **Metals and Materials**, v. 5, 286-290, May 1989.
9. NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. **Norma NIJ Std 0108.01, Ballistic Resistant Protective Materials**. Washington: U.S. Department of Justice, 1985.
10. DOW QUÍMICA S.A. **Catálogo comercial (CDROM)**. São Paulo, SP, 2000.



11. CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. **Relatório de Ensaio nº 772/02**. Rio de Janeiro: CETIQT/SENAI/CNI, 2002.
12. KUDOH, H.; SASUGA, T.; SEGUCHI, T.; KATSUMURA, Y. High-energy ion irradiation effects on polymer materials: 2. Proton irradiation effects on PMMA and GFRP. **Polymer**, v. 37, n. 21, p. 4663-4665, 1996.
13. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Norma D785, Standard method of test for Rockwell hardness of plastics and electrical insulating materials**. Philadelphia: ASTM, 1993.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Norma ASTM D3039M, Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**. Philadelphia: ASTM, 2000.
15. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Norma ASTM D5942, Standard method of test for determining Charpy impact strength of plastics**. Philadelphia: ASTM, 1993.
16. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Norma ASTM D790M, Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials (metric)**. Philadelphia: ASTM, 1993.
17. SILVERSTEIN, R.M.; BASSLER, G.C.; KAISER, T. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Dois, 1974.
18. MEGUSAR, J. Low temperature fast-neutron and gamma irradiation of glass fiber-epoxy composite. Part 2: Structure and chemistry. **J. Nuclear Mater.**, v. 230, p. 233-241, 1996.
19. BACKMAN, M.E.; GOLDSMITH, W. The mechanics of penetration of projectiles into targets. **Int. J. Engineering Sci.**, v. 16, p. 1-99, 1978.
20. CLOUGH, R.L.; GILLEN, K.T.; DOLE, M. Radiation resistance of polymers and composites. In: CLEGG, D.W.; COLLIER, A.A. (Ed.). **Irradiation effects on polymers**. New York: Elsevier Science Pub. Co. cap. 3, p.79-156.
21. MEGUSAR, J. Low temperature fast-neutron and gamma irradiation of glass fiber / epoxy composite. Part 1: deformation and fracture. **J. Nuclear Mater.**, v.228, p. 168-175, 1996.
22. HEPBURN, D.M.; KEMP, I.J.; COOPER, J.M. Degradation of filled epoxy resin surfaces. **Polym. Deg. Stab.**, v. 70, p. 245-151, 2000.
23. KUMAR, B.G.; SINGH, R.P.; NAKAMURA, T. Degradation of carbon fiber-reinforced epoxy composites by ultraviolet radiation and condensation. **J. Comp. Mater.**, v. 36, p. 2713-2733, 2002.
24. LEE, H.; NEVILLE, K. **Handbook of epoxy resins**. New York: McGraw-Hill Book Co, 1967.
25. EGGLESTONE, G.T.; GELLERT, E.P.; WOODWARD, E.L. Perforation failure mechanisms in laminated composites. In: CONFERENCE ON MATERIALS UNITED IN THE SERVICE OF MAN, 1990, Perth: Australia.
26. GUDEN, M.; YILDIRIM, U.; WALL, I.W. Effect of strain rate on the compression behavior of a woven glass fiber/SC-15 composite. **Polym. Testing.**, v. 23, p. 719-725, 2004.
27. ALVES, A.L.S.; NASCIMENTO, L.F.C.; MIGUEZ SUAREZ, J.C. Influence of weathering and gamma irradiation on the mechanical and ballistic behavior of UHMWPE composite armor. **Polym. Testing**, v. 24, p. 104-113, 2005.

# BEHAVIOUR OF ARAMID FABRIC REINFORCED EPOXY COMPOSITE: EFFECT OF GAMMA RADIATION <sup>(1)</sup>

Viviane Vivas <sup>(2)</sup>

Marcelo Belmiro Gomes de Souto <sup>(2)</sup>

João Carlos Miguez Suarez <sup>(3)</sup>

## Abstract

Fibers and fabrics have been used, since the 70's, as reinforcement in polymeric matrix composites (PMCs). These materials are regarded as excellent engineering materials and are used in several fields, from sport and recreation products to sophisticated structures for civil and military applications. Polymeric materials such as polyester, polyamide, aramid, polyethylene and epoxy resin have been widely used by the military industry. The textile materials are used, since World War II, as armor materials, soft or hard. Epoxy resins have excellent engineering characteristics and epoxy-reinforced composites are used in the manufacture of armor for personnel or vehicular protection. However, these polymer composites after exposure to environmental agents can exhibit macromolecular modifications that, frequently, worsen their technological properties. In the present work the mechanical and ballistic behavior of aramid fiber reinforced epoxy composite plates after exposure to gamma radiation was investigated. The composites were evaluated through mechanical (hardness, tension, impact and flexure) and physicochemical (infrared spectroscopy and thermal gravimetric analysis) testing. It was observed that gamma irradiation induces modifications in the polymeric matrix macromolecular chains, modifying the mechanical properties and the ballistic behavior of the composite. These results are presented and discussed.

**Key-words:** Composite; Epoxy resin; Aramid fiber; Gamma irradiation

<sup>1</sup> *Technical paper for presentation in 60th Annual Congress of ABM, to be held at Belo Horizonte, MG, during July 25~28, 2005.*

<sup>2</sup> *Engineer, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.*

<sup>3</sup> **ABM Member, Engineer and Doctor of Sciences, Emeritus Professor, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.**