



ESTUDO DA POLIUREIA COMO MATERIAL POLIMÉRICO DE ALTA ABSORÇÃO DE ENERGIA NA COMPOSIÇÃO DE COLETES BALÍSTICOS

Isabela Raquel Junqueira¹, Matheus de Almeida Gonçalves¹, Pedro Vitor Cunha Iacopi¹, Tais Helena de Faria¹, Susana Marraccini Giampietri Lebrão², Viviane Tavares de Moraes^{2*} e Guilherme Wolf Lebrão²

1 – Graduando, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia

2- Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. Praça Mauá, n1 – São Caetano do Sul – SP, CEP 09580-900

Autor viviane.moraes@maua.br

RESUMO

Coletes a prova de balas são acessórios de proteção individual que garantem a proteção do usuário a penetração de projétil. Deve-se considerar o uso de materiais resistentes e leves para a confecção desses coletes. Assim este estudo teve como objetivo estudar a poliuréia, material polimérico resistente à impactos e explosões, atuando na composição de coletes balísticos em nível III, junto ao polietileno, evitando assim o uso de material cerâmico e metálico, com elevada densidade quando comparado ao polietileno e a poliureia. Em sua forma comercializada, os coletes podem ser compostos por mantas de aramida compactadas, placa de polietileno de ultra alto peso molecular, chapas metálicas, e compósitos. A metodologia adotada nesse estudo se resume na aplicação da poliuréia em placas de polietileno com o intuito de avaliar o grau de trauma através de ensaios balísticos. Foram avaliadas três configurações de materiais: a) placa de polietileno sem adição de poliureia; b) placa de polietileno com poliuretano e poliureia e c) placa de polietileno com poliureia. Todos passaram por teste balístico, afim de concluir o desempenho da poliuréia como absorvedor de energia. Após os testes, concluiu-se que a poliuréia aumenta a proteção do colete, cerca de 35% com uma camada de 1,9mm de poliureia, que a massa do colete aumenta de 2 kg para 2,3 kg e que o custo acrescentaria cerca de 2,5%. Contudo esta configuração garante a aplicação deste colete para aplicações exclusivas do exército, sem a necessidade de inserir placas cerâmicas ou metálicas, cuja densidade chegam a ser 8 vezes maior que a da poliureia.

Palavras-chave: *Poliuréia, Coletes balísticos, Absorção de impacto*

INTRODUÇÃO

O convívio social sempre foi registrado com eventos de violência como guerras, casos de violência armada, homicídios, incluindo a degradação socioeconômica da região. O Brasil tem níveis acima da média mundial no que se refere a crimes violentos, com níveis particularmente altos em relação à violência armada e homicídio.

Para o combate à violência, através de órgãos de segurança como exército, forças armadas, polícia federal, etc., a blindagem pessoal é essencial para garantir a integridade do usuário. Esta blindagem pessoal tem como objetivo ser resistente o suficiente para evitar que ataques, por qualquer tipo de arma, atinjam o corpo humano ⁽¹⁾.

O principal meio de proteção pessoal é o colete à prova de balas, produzido com materiais especiais que combinam resistência e leveza. Desde que entrou em vigor a Portaria 191 do Ministério do Trabalho, obrigando vigilantes que portam armas de fogo a utilizarem coletes balísticos ⁽²⁾.

Atualmente mais de 80 fabricantes produzem coletes à prova de balas e participam do comitê voluntário do NIJ. Outros tipos de blindagem resistente a balas, que eram muito mais pesadas e mais volumosas do que os coletes feitos com a nova tecnologia, praticamente desapareceram do mercado ⁽³⁾.

A geração atual de blindados pode fornecer níveis variados de proteção para reter balas de revólver mais comuns de baixa e média energia. O colete projetado para conter o rifle de fogo é de construção semi-rígida ou rígida, tipicamente incorporando materiais duros, como cerâmica e metais. Devido ao seu peso e volume, é impraticável para uso rotineiro por policiais de patrulha uniformizados e é reservado para uso em situações táticas, onde é usado por curtos períodos de tempo, quando confrontados com ameaças de nível superior ^(4, 5).

Atualmente os coletes de proteção balística, classificados como nível II, pesam em torno de 2kg, e são compostos por múltiplas camadas de fibra de aramida ou polietileno de ultra alto peso molecular ou de policerâmica, materiais considerados resistentes ^(6, 7).

Estudos para melhorar a mobilidade dos usuários dos coletes, que garantam a sua resistência estão associados ao tipo de material selecionado, onde se torna difícil encontrar um material que coexista a baixa densidade e a elevada resistência ao impacto ⁽⁸⁾.

A energia de impacto das balas de revólver, pistola e rifle são geralmente maiores que a dos fragmentos ocasionados pela explosão de bombas, granadas e minas. Quando a bala encontra um colete resistente, sua força de impacto se distribui pela área do material, dissipando a energia e impedindo que o projétil penetre no corpo ⁽⁷⁾.

Quando o colete recebe o impacto do projétil ele se deforma com um grau de trauma representado pela profundidade que o colete promove no corpo atingido. Esse grau de trauma pode chegar até 4,4 cm de penetração no usuário, porém não pode permitir a passagem do projétil, este deve ficar retido entre o material do colete e somente o abaulamento ser sentido pelo usuário, que já é bem desconfortável ⁽¹⁾

Assim estudos com aplicação de poliureia, como polímero de alta absorção de energia e baixa densidade, no desenvolvimento da composição de um colete balístico vem crescendo ^(9, 10, 11).

A escolha da poliureia como objeto de estudo principal se deu por suas características para utilização na proteção balística, tais como, alta resistência mecânica, química e térmica, além de possuir um elevado módulo de elasticidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

O comportamento de uma proteção balística é definido pelo impacto, onda de choque carregada pelo projétil, a troca térmica, dissipação de energia pelo som, e até uma possível fragmentação do mesmo.

Tipicamente os coletes balísticos são produzidos com polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM).

Para avaliar o desempenho da poliureia na aplicação de coletes balísticos foram adotados três preparações de corpos de prova:

- (i) PEUAPM sem revestimento de poliuréia;
- (ii) PEUAPM com espuma de poliuretano, revestido com poliureia;
- (iii) PEUAPM revestido com poliureia.

A placa de PEUAPM sem revestimento foi testada para comparação com as outras placas revestidas com poliuréia.

A placa com espuma de poliuretano, revestida de poliuréia foi preparada a fim de identificar se o poliuretano contribuiria para a absorção do impacto do projétil. E

por fim a placa revestida de poliureia foi avaliada quanto aos benefícios desse material na absorção de energia do impacto do projétil.

A poliureia utilizada para o revestimento dos corpos de prova foi o produto bi componente Truefix 425 - Versaflex™, que pode ser aplicada na forma de spray ou aplicação direta. Neste estudo foi adotada a aplicação direta do produto, com um tempo de solidificação em torno de 40 minutos, e cura completa em 24h.

Os tipos de corpos de prova confeccionados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos corpos de prova produzidos para ensaios de impacto e balístico.

Amostra	Aplicação de poliureia	Sigla da amostra	Descrição
PEUAM fornecida pelo fabricante de coletes	Sem adição de poliureia	PE-SP	Placa retangular 300x250 mm, espessura 17,0 +/- 0,8 mm
	Em uma face adicionada espuma de poliuretano com espessura de 2,0mm, seguida de revestimento completo com poliureia	PE+PU+P	Placa retangular 300x250 mm, espessura 17,0 +/- 0,8 mm
	Revestimento completo com poliureia	PE+P	Placa de formato anatômico 200x230 mm, espessura 17,0 +/- 0,8 mm

O ensaio balístico foi realizado em laboratório balístico da empresa fabricante de coletes balísticos, que conta com uma cabine de testes de projéteis reais, provida de proteção apropriada e certificada pelo Exército Brasileiro. Composta pela bancada de montagem, na qual um operador realiza a manutenção e montagem da máquina capaz de disparar desde um calibre 22 até 762.

O ensaio consiste em testar o grau de profundidade do projétil na plastilina que é colocada atrás do colete, para isso o ambiente é controlado em temperatura e velocidade.

A imagem da cabine de testes de projéteis reais, certificada pelo Exército Brasileiro foi apresentada na Figura 1.



Figura 1. Imagem da cabine de testes de projéteis reais.

O teste foi realizado com um total de quatro disparos de projéteis .762 FMJ de acordo com a norma “NIJ Standard – 0101-04, Ballistic Resistance of Personal Body Armor”, a qual estipula uma distância de 15 metros para o corpo de prova, e tem sua velocidade tabelada de no mínimo 838 m/s, que é aferida através de dois sensores de posição dispostos em pontos distintos ao longo do túnel de testes, esses sensores são utilizados apenas para comprovar a velocidade tabelada pela norma. A Figura 2 mostra a imagem dos níveis de classificação conforme o nível de proteção, além das especificações de calibre e munição utilizados nos testes.

NÍVEL DE PROTEÇÃO	TIPO DE MUNIÇÃO calibres	CARACTERÍSTICA DA MUNIÇÃO				CONDIÇÕES DE USO
		Peso		Velocidade		
		g	gr.	m/s	ft/s	
NÍVEL IIA	9 mm FMJ RN	8.0	124	341	1120	USO PERMITIDO
	.40 S&W fmj	11.7	180	322	1055	
NÍVEL II	9 mm FMJ RN	8.0	124	367	1205	
	.357 MAG JSP	10.2	158	436	1430	
NÍVEL IIIA	9 mm FMJ RN	8.2	124	436	1430	
	44 MAG JHP	15.6	240	436	1430	
NÍVEL III	7.62 mm NATO FMJ	9.6	148	838	2780	USO RESTRITO Somente para o Exército
NÍVEL IV	30 M2 AP	10.8	166	869	2880	

ACP = Automatic Colt Pistol / FMJ = Full Metal Jacket / JHP = Jacketed Hollow Point / JSP = Jacketed Soft Point / LR = Long Rifle / LRN = Lead Round Nose / PP = Partial Penetration / RN = Round Nose / S&W = Smith & Wesson / SJHP = Semi Jacketed Hollow Point / SJSP = Semi Jacketed Soft Point / g = gramas / m/s = metros por segundo / gr = grans (quantidade de pólvora em um cartucho) / ft/s = foot per second

Figura 2. Classificação de coletes balísticos pelo nível de proteção ⁽¹⁾.

Para o teste balístico foi considerado o nível de proteção III, de uso restrito do exército.

Neste ensaio é colocado uma placa de plastilina na parte traseira do colete a ser avaliado, após o disparo a plastilina apresenta uma penetração, que é proporcional ao impacto recebido pelo usuário. Desta forma o valor limite para considerar o colete aprovado é 44 mm de profundidade na plastilina após o disparo.

Se for aprovado para o teste nível III de uso restrito do exército, também se considera aprovado para os outros usos, representado pelo nível IIIA, II e IIA ⁽¹⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

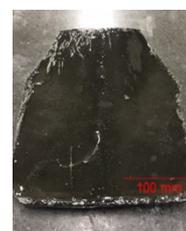
As imagens da placa de PEUAM sem e com o revestimento de poliureia correspondente a cada tipo de amostra foi representado na Figura 3.



PEUAPM sem
revestimento
(PE-SP)



PEUAPM + Espuma de
poliuretano + Poliuréia
(PE+PU+P)



PEUAPM + Poliureia
(PE+P)

Figura 3. Imagem da placa de PEUAPM sem e com revestimento de poliureia.

A espessura de poliuréia da amostra com poliuretano (PU) foi menor do que a placa sem poliuretano, pois a placa com espuma de PU já tinha um acréscimo no dimensional, desta forma a espessura de poliureia desta placa foi de 1,20 mm, enquanto que a placa de PEUAPM somente com revestimento de poliureia chegou a uma espessura de 1,90 mm.

As placas de PEUAPM pesam cerca de 2 kg, com a adição de poliureia ou com a adição de poliuretano e poliureia, a massa total não ultrapassou 2,3 kg.

O custo da poliureia é de aproximadamente R\$ 150,00 / kg, enquanto que o custo de um colete nível III, exclusivo do exército, produzido em PEUAPM pode chegar a R\$2.000,00. Desta forma se considerar aproximadamente 300 g de poliureia por colete, o custo final seria acrescido em aproximadamente 2,5 %.

Os resultados obtidos no ensaio balístico estão apresentados na Figura 4 onde as amostras que apresentaram profundidade do trauma superior à 44,00 mm foram reprovadas, conforme premissas descritas pelas Norma NIJ Standard 0101.04 – Revision A ⁽³⁾.

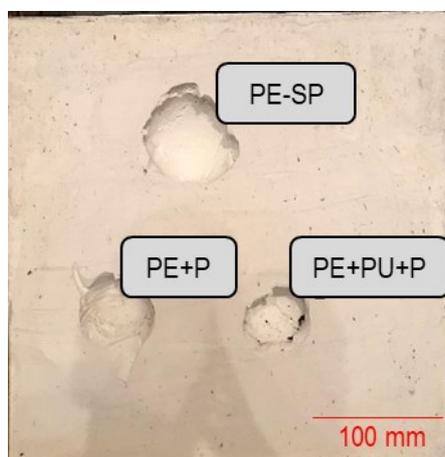


Figura 4 – Bloco de plastilina após ensaio balístico

Os resultados da profundidade da penetração na plastilina após o teste balístico foram apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do ensaio balístico para colete nível III, uso exclusivo do exército

Amostra	Espessura da poliureia (mm)	Profundidade do trauma (mm)	Situação
PEUAPM sem adição de poliuréia	Não se aplica	58,90	Reprovado
PEUAPM + Poliuretano + Poliuréia – placa retangular	1,20	48,50	Reprovado
PEUAPM + poliuréia + placa anatômica	1,90	38,60	Aprovado

Todas as amostras foram mantidas a distância de 15,0 m, com velocidade do projétil de 862,0 m/s +/- 15 m/s

A amostra com maior espessura do revestimento de poliureia foi a única aprovada no ensaio para colete nível III de uso exclusivo do exército, onde percebe-se um trauma com profundidade menor que 10 mm em relação a amostra sem revestimento de poliureia, correspondente a cerca de 35% mais absorção de energia após teste balístico.

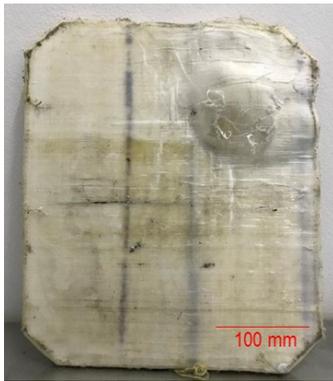
A amostra com espuma de poliuretano (PE+PU+P) com espessura menor de poliureia teve melhor desempenho com relação a amostra sem revestimento, contudo ainda assim foi reprovada pelo grau do trauma. Neste caso o poliuretano não contribuiu para a absorção do impacto.

A amostra sem adição de poliureia foi reprovada para esta aplicação testada, contudo seu uso está aprovado para nível IIIA e inferiores.

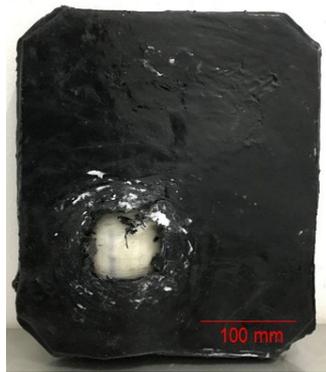
Fazendo uma comparação com os resultados obtidos na placa com poliuretano e com poliureia é possível afirmar que o revestimento promove melhor proteção balística que o já produzido convencionalmente para o nível IIIA, e que a placa de PEUAPM sem poliuretano e sem poliureia.

Somente com a adição de camada de 1,9mm de poliureia é possível melhorar o desempenho da proteção balística ao ponto de subir no nível para uso restrito ao exército.

A Figura 5 mostra a parte traseira das placas analisadas após o teste balístico.



PEUAPM sem
revestimento
(PE-SP)



PEUAPM + Espuma de
poliuretano + Poliureia
(PE+PU+P)



PEUAPM + Poliureia
(PE+P)

Figura 5 – Placas de PEUAPM sem e com revestimento, após ensaio balístico

A placa que apresentou menor deformação na parte traseira e, portanto, menor trauma na plastilina, foi a placa com maior espessura de poliureia.

A Figura 6 mostra o processo de delaminação das placas após ensaio balístico.



Figura 6 – Delaminação dos coletes após ensaio balístico

A placa com a camada mais espessa de poliureia apresentou menor grau de trauma no ensaio balístico e, portanto, teve maior absorção do impacto do projétil durante o ensaio, transferindo menor energia a plastilina, neste caso observa-se a delaminação similar a placa sem revestimento de poliureia.

A configuração da placa com revestimento de 1,9 mm de poliureia garante a aplicação deste colete para aplicações exclusivas do exército, sem a necessidade de inserir placas cerâmicas ou metálicas, cuja densidade chegam a ser 8 vezes maior que a da poliureia.

Assim um colete que utilizaria placa de cerâmica ou metálica pode-se ter redução no peso, se substituí-las por revestimento de poliureia, o que resultaria em maior conforto e mobilidade aos usuários.

Outras configurações de coletes balísticos podem usar aramida e economicamente, considerando a avaliação sucinta durante o estudo, pode-se observar uma diferença de preço relevante para a fabricação de uma unidade de colete, pois a poliureia é cerca de 94,2 % mais barata que a aramida.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados pode-se concluir que a poliureia apresentou ganho de aproximadamente 35 % na absorção de energia do colete balístico quando adicionada em camadas acima de 1,9mm.

O grau de trauma na plastilina do ensaio balístico foi de 38,60 mm para a placa de PEUAPM com revestimento de poliureia; 48,50 mm na placa de PEUAPM com poliuretano e poliureia e PEUAPM sem qualquer tipo de revestimento foi de 58,90 mm, sendo este último aprovado para nível de proteção IIIA ou inferior e não para uso exclusivo do exército. Desta forma todos os revestimentos com poliureia tiveram melhor desempenho em relação a placa de polietileno, usada convencionalmente.

Ainda pode-se concluir que o PEUAPM somente com revestimento de 1,9 mm de poliureia consegue atingir padrões de proteção nível III, exclusivo do exército, com um adicional de aproximadamente 13% em massa do colete e com acréscimo de custo de 2,5 %.

O custo adicional com o uso da poliureia ainda é menor que o custo de outros materiais utilizados como policerâmicas, metais e aramida.

Agradecimentos

Ao Instituto Mauá de Tecnologia.

Fapesp Processo nº 2020/09163-3

REFERÊNCIAS

1. U.S DEPARTMENT OF JUSTICE; OFFICE OF JUSTICE PROGRAMS. **Selection and Application Guide to Personal Body Armor**. The National Institute of Justice's. Washington DC, NIJ guia 100-01, p. 1-30, 2001.
2. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO SECRETARIA DE INSPEÇÃO DO TRABALHO. **Portaria N.º 191, de 04 de Dezembro de 2006**. Brasília, 06 dez. 2006
3. NIJ Standard 0101.04 – Revision A – Ballistic Resistance of Personal Body Armor, June 2001 (Revisão A – Resistência Balística de Coletes à Prova de Balas, junho de 2001, do Instituto Nacional de Justiça – NIJ, do Departamento de Justiça dos Estados Unidos da América)
4. MOHOTTI, Damith; NGO, Tuan; RAMAN, Sudharshan N.; MENDIS, Priyan. Analytical and numerical investigation of polyurea layered aluminium plates subjected to high velocity projectile impact. **Materials & Design**, [S.L.], v. 82, p. 1-17, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.05.036>.
5. MOHOTTI, Damith; NGO, Tuan; MENDIS, Priyan; RAMAN, Sudharshan N.. Polyurea coated composite aluminium plates subjected to high velocity projectile impact. **Materials & Design (1980-2015)**, [S.L.], v. 52, p. 1-16, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.060>.
6. STERGIOU, Theodosios; BAXEVANAKIS, Konstantinos P.; ROY, Anish; SAZHENKOV, Nickolay; NIKHAMKIN, Mikhail A.; SILBERSCHMIDT, Vadim V.. Ballistic performance of polyurea-coated thin aluminium plates: numerical study. **Procedia Structural Integrity**, [S.L.], v. 28, p. 1258-1266, 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prostr.2020.11.107>.
7. U.S DEPARTMENT OF JUSTICE; OFFICE OF JUSTICE PROGRAMS. **Ballistic Resistance of Personal Body Armor**. The National Institute of Justice's. Washington DC, NIJ guia 101-04, p. 1-40, 2000.
8. RAHIMZADEH, Tanazet *et al.* **Design of armor for protection against blast and impact**. Separata de: **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, v. 85, p. 98-111, 2015.
9. MOTT, P. H.; GILLER, B.; FRAGIADAKIS, D. I.; ROSENBERG, D. A. **Deformation of polyurea: Where does the energy go?**. Separata de: **Polymer**, v. 105, p. 227-233, 2016.

STUDY OF POLYUREA AS A HIGH ENERGY ABSORPTION POLYMER MATERIAL IN THE COMPOSITION OF BALLISTIC ARMOR

ABSTRACT

Bulletproof armor are personal protective accessories that guarantee the user's protection from projectile penetration. Consideration should be given to using resistant and lightweight materials to make these vests. Therefore, this study aimed to study polyurea, a polymeric material resistant to impacts and explosions, acting in the composition of level III ballistic armor, together with polyethylene, thus avoiding the use of ceramic and metallic materials, with high density when compared to polyethylene and polyurea. In their commercialized form, armor can be composed of compressed aramid blankets, ultra-high molecular weight polyethylene plates, metal sheets, and composites. The methodology adopted in this study is limited to the application of polyurea to polyethylene plates to evaluate the degree of trauma through ballistic tests. Three material configurations were evaluated: a) polyethylene plate without added polyurea; b) polyethylene plate with polyurethane and polyurea and c) polyethylene plate with polyurea. All underwent ballistic testing, to conclude the performance of polyurea as an energy absorber. After the tests, it was concluded that polyurea increases the protection of the armor, approximately 35% with a 1.9mm layer of polyurea, that the mass of the vest increases from 2 kg to 2.3 kg, and that the cost would add approximately 2.5%. However, this configuration guarantees the application of this armor for exclusive army applications, without the need to insert ceramic or metallic plates, whose density is up to 8 times greater than that of polyurea.

Keywords: *Polyurea, Ballistic vests, Impact absorption*