

**ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS  
ACADEMIA REAL MILITAR (1811)  
CURSO DE CIÊNCIAS MILITARES**

**Victor Kenji Tomaz Yamane**

**ESTUDO DA FUNCIONALIDADE E EFETIVIDADE DA BLINDAGEM DO  
COLETE BALÍSTICO USADO NO EXÉRCITO BRASILEIRO**

**Resende  
2020**

Victor Kenji Tomaz Yamane

**ESTUDO DA FUNCIONALIDADE E EFETIVIDADE DA BLINDAGEM DO  
COLETE BALÍSTICO USADO NO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Monografia apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Orientador: Godoy Ribeiro da Silva

Resende  
2020

Victor Kenji Tomaz Yamane

**ESTUDO DA FUNCIONALIDADE E EFETIVIDADE DA BLINDAGEM DO  
COLETE BALÍSTICO USADO NO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Monografia apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2020:

Banca examinadora:

---

**Godoy** Ribeiro da Silva – Cap  
(Orientador)

---

**Mateus** Passinho **Duarte** – Cap

---

Hélio Gonçalves Chagas De **Macedo** – Maj

Resende  
2020

Em primeira instancia, dedico este trabalho a Deus, por ter me conduzido durante este percurso ímpar de minha vida, o qual, apesar dos obstáculos, foi de grande valia para que eu me tornasse um valoroso oficial do Exército Brasileiro e, também, à minha mãe, que, com todo amor e dedicação, jamais deixou de acreditar nos meus sonhos, sendo fundamental para o alcance deste objetivo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me fornecido o devido amparo espiritual, levantando-me todas as vezes que a subversão de meus sonhos era iminente, capacitando-me e fornecendo todas as forças para que eu nunca esmorecesse perante as dificuldades e que, deste modo, pudesse estar concluindo meu maior sonho, tornar-me oficial do Exército Brasileiro.

Agradeço também a minha mãe por me acompanhar em toda minha jornada, principalmente nos momentos mais difíceis, me encorajando cada vez mais para o alcance de minhas conquistas.

Aos meus orientadores, por todo o esforço e dedicação em auxiliar-me na edificação deste trabalho. Disponibilizando tempo e materiais, que foram extremamente importantes o êxito desta pesquisa.

## RESUMO

### ESTUDO DA FUNCIONALIDADE E EFETIVIDADE DA BLINDAGEM DO COLETE BALÍSTICO USADO NO EXÉRCITO BRASILEIRO

AUTOR: Victor Kenji Tomaz Yamane

ORIENTADOR: Godoy Ribeiro da Silva

Diversos materiais foram desenvolvidos para a proteção balística, mas o cerâmico revestido por polímero continua como o principal quando se trata dos coletes pertencentes ao Exército Brasileiro devido a sua boa aceitação pelas tropas, custo acessível e, principalmente, efetividade na proteção balística contra armas de fogo leves. Com base no estudo de materiais e pesquisas sobre a funcionalidade do colete balístico da Força Terrestre brasileira, na análise para verificar se ele satisfaz as necessidades para qual foi desenvolvido, se garante a operacionalidade das tropas, o bom cumprimento da missão e se existem materiais mais adequados que possam substituir o atual, verificamos que, mesmo se tratando de um colete eficiente, existem falhas e é possível uma melhora significativa na proteção e na ergonomia.

**Palavras-chave:** Colete balístico. Funcionalidade. Efetividade. Cerâmico. Polímero

## ABSTRACT

### STUDY OF THE FUNCTIONALITY AND EFFECTIVENESS OF THE BALLISTIC VEST USED IN THE BRAZILIAN ARMY

AUTHOR: Victor Kenji Tomaz Yamane

ADVISOR: Godoy Ribeiro da Silva

Several materials have been developed for ballistic protection, but polymer coated ceramic remains the foremost when it comes to the vests belonging to the Brazilian army due to its good acceptance by the troops, affordable cost and, especially, effectiveness in ballistic protection against light firearms. Based on the study of materials and research on the functionality of the Brazilian Ground Force ballistic vest, in the analysis to verify that it meets the needs for which it was developed, ensures troop operability, mission accomplishment and if there are more suitable materials that can replace the current one, we find that even when it comes to an efficient vest, there are flaws and a significant improvement in protection and ergonomics is possible.

**Keywords:** Ballistic vest. Functionality. Effectiveness. Ceramic. Polymer

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de proteção balística.....	22
Tabela 2 – Propriedade das placas de aluminas de 6, 3 e 2 mm de espessura .....	25
Tabela 3 – Resultados do ensaio balístico das aluminas monolíticas e das estruturas estudadas.....	26
Tabela 4 – Frequência de dores lombares após uso do colete balístico.....	40
Tabela 5 – Quantitativo de militares que receberam instrução sobre ajustagem do colete balístico.....	41

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reação de polimerização do Kevlar.....	13
Figura 2 – Exemplo de blindagem composta.....	16
Figura 3 – Emprego do colete balístico em Operações de GLO e defesa de ponto forte.....	17
Figura 4 – Vista frontal e dorsal do colete utilizado pelo EB.....	19
Figura 5 – Nylon 6,6 <i>cis</i> - e <i>trans</i> - respectivamente.....	24
Figura 6 – Colete Balístico após impacto de munição 7,62mm.....	29
Figura 7 – Composição do Colete Balístico empregado pelo Exército Brasileiro.....	29
Figura 8 – Vista latera e vista frontal da placa e sistema placa/suporte/alvo ( <i>a</i> ), ( <i>b</i> ) e ( <i>c</i> ), respectivamente).....	31
Figura 9 – Vista frontal e traseira da placa balística após impacto munição 5,56mm ( <i>a</i> ) e ( <i>b</i> ), respectivamente).....	32
Figura 10 – Vista frontal e traseira da placa balística após impacto munição 9mm ( <i>a</i> ) e ( <i>b</i> ), respectivamente).....	33
Figura 11 – Vista frontal, traseira, da região entre primeiro e segundo blocos e da região entre segundo bloco e material da retaguarda ( <i>a</i> ), ( <i>b</i> ), ( <i>c</i> ) e ( <i>d</i> ), respectivamente).....	34
Figura 12 – Temperatura da pele com a utilização de colete balístico nível IIIA (sem placa balística), após a realização de exercícios físicos moderados.....	36
Figura 13 – Colete balístico: <i>a</i> ) tipo A, <i>b</i> ) tipo B e <i>c</i> ) tipo C.....	38
Figura 14 – Distribuição do peso do colete balístico.....	39
Figura 15 – Regiões do colete balístico que possuem problemas de ajuste e causam perda de mobilidade.....	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Resistência do UTEC <sup>®</sup> em comparação com outros materiais.....	27
Gráfico 2 – Isolamento térmico local dos segmentos peito e costas.....	38
Gráfico 3 – Problemas encontrados com a utilização do colete balístico.....	44
Gráfico 4 – Resultantes dos problemas apresentados.....	45
Gráfico 5 – Levantamento das necessidades de melhorias.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMAN	Academia Militar das Agulhas Negras
EB	Exército Brasileiro
GLO	Garantia da Lei e da Ordem
NIJ STD	National Institute of Justice Standart
FFAA	Forças Armadas
PEUAPM	Polietileno de ultra-alto Peso Molecular
Kg	Quilograma
mm	Milímetro
FMJ	Full Metal Jacket
RN	Round Nose
JHP	Jacketed Hollow Point
OM	Organização Militar
%	Percentual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	<b>Objetivo geral</b> .....	14
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
2.1	POLÍMEROS.....	15
2.2	CERÂMICOS.....	15
2.3	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	16
2.4	FUNCIONALIDADE DO COLETE BALÍSTICO.....	17
2.5	EFETIVIDADE DO COLETE BALÍSTICO.....	18
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL METODOLÓGICO</b> .....	19
3.1	TIPO DE PESQUISA.....	19
3.2	MÉTODOS.....	20
3.2.1	<b>Análise qualitativa dos materiais</b> .....	20
3.2.2	<b>Avaliação da adaptabilidade</b> .....	21
3.2.3	<b>Análise dos resultados obtidos</b> .....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	22
4.1	EFETIVIDADE DO COLETE BALÍSTICO.....	22
4.1.1	<b>Painel balístico flexível</b> .....	23
4.1.2	<b>Placa balística</b> .....	24
4.1.3	<b>Estrutura completa do colete</b> .....	28
4.1.4	<b>Teste com placa balística nível III</b> .....	30
4.2	FUNCIONALIDADE DO COLETE BALÍSTICO.....	34
4.2.1	<b>Isolamento térmico</b> .....	36
4.2.2	<b>Distribuição do peso e lesões que ele pode acarretar aos militares</b> .....	39
4.2.3	<b>Mobilidade e capacidade de ajustagem</b> .....	41
4.3	ANÁLISES DA PESQUISA REALIZADA.....	43
4.4	MELHORAMENTOS POSSÍVEIS.....	47
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50

## 1 INTRODUÇÃO

O colete balístico utilizado atualmente é uma evolução das antigas formas de proteção da infantaria em detrimento do avanço dos armamentos empregados nos conflitos. Nesse contexto, um fator para os avanços foi o peso excessivo dos antigos materiais, que limitava o movimento de quem o estava utilizando.

Nas guerras da antiguidade, antes de inventarem a pólvora, os combates eram muito aproximados, sendo espadas, lanças e arco e flechas as armas mais comuns empregadas. Tais armas tinham um baixo poder de transfixação, sendo as armaduras suficientes para a proteção dos combatentes.

Essas armaduras podiam ser de couro, tendo como vantagem o baixo preço. Porém, para garantir uma boa proteção, colocava-se várias camadas sobrepostas de couro, e quanto melhor a proteção, mais camadas e maior o peso.

As armaduras metálicas eram compostas de aço, ou seja, uma liga metálica de ferro, carbono e diversos outros metais. Esta liga pode ter diversas características baseada na concentração dos materiais que a compõem, sendo necessário um nível balanceado de resistência, ductilidade e dureza. Ela ainda continuou sendo utilizada por um período após a invenção da pólvora, pois, contra tiros de longas distâncias o projétil não penetrava e a curtas distâncias reduzia os danos.

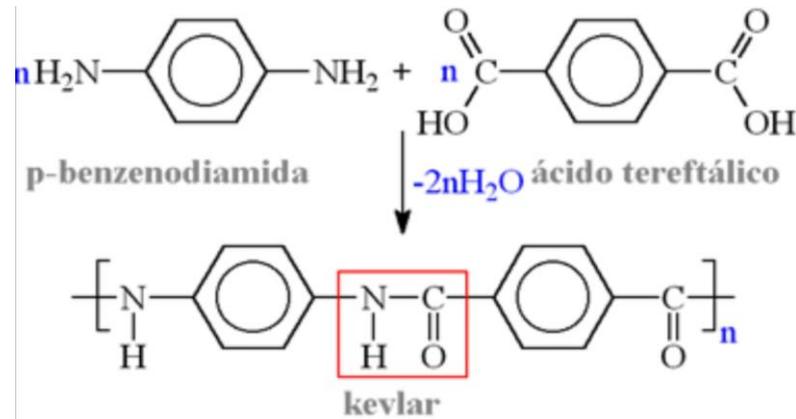
Com o decorrer dos anos, armas mais sofisticadas foram desenvolvidas e em diversas partes do mundo proteções balísticas foram criadas com os mais variados materiais, desde ligas metálicas diversas até seda e algodão.

Mas foi no ano de 1965, em Delaware nos Estados Unidos que a pesquisadora Stephanie Kwolek, trabalhando na Estação Experimental de DuPont, descobriu uma substância cinco vezes mais resistente que o aço por unidade de peso e que revolucionou a proteção balística mundial, o Kevlar.

O Kevlar é um polímero de fórmula molecular  $[-CO-C_6H_4-CO-NH-C_6H_4-NH]_n$ , da família das aramidas e formado pela reação de um ácido carboxílico (p-benzenodioico) e de uma amina (benzenodiamina), como visto na figura 1.

Após isso, houve o desenvolvimento de materiais cerâmicos de estruturas mais complexas e que garantiam a proteção contra calibres maiores de armas de fogo, como o mais comum empregado por tropas do mundo inteiro que é o 7,62mm, que só o Kevlar sozinho não resistia e era transfixado.

Figura 1 – Reação de polimerização do Kevlar



Fonte: FOGAÇA (2011)

Diversos outros materiais foram desenvolvidos para a proteção balística, mas o cerâmico revestido pela aramida continua como o principal quando se trata dos coletes pertencentes ao Exército Brasileiro devido a sua boa aceitação pelas tropas e custo acessível e, principalmente, efetividade na proteção balística contra armas de fogo leves.

Nos dias atuais, o Exército Brasileiro (EB) tem sido o protagonista em diversas missões em âmbito nacional e internacional, como as de Garantia da Lei e da Ordem (GLO) no Rio de Janeiro e de Manutenção da Paz no Haiti. Com essa crescente atuação, os equipamentos para a proteção dos militares também tem que evoluir para que se tenha o mínimo de baixas em combate. Além disso, a perdas na mobilidade e lesões aos combatentes que o estiverem utilizando também são fatores que precisam ser analisados.

O modelo desse equipamento utilizado pelos militares da Força Terrestre é de 2008, portanto, apresenta grande defasagem com relação a ajustagem, limitação dos movimentos e isolamento térmico.

Assim é oportuno problematizar a questão: em operações, o colete balístico oferece a proteção necessária ao combatente que o está utilizando? Além disso, quais as restrições e dificuldades que este equipamento causa?

Com base nesses questionamentos e no estudo de materiais e pesquisas sobre a funcionalidade do colete balístico da Força Terrestre brasileira, este trabalho tem o intuito de realizar uma análise para verificar se ele satisfaz as necessidades para qual foi desenvolvido, se garante a operacionalidade das tropas, se permite o bom cumprimento da missão e se existem materiais mais adequados que possam substituir o atual.

Esta pesquisa justifica-se para uma melhoria da capacidade de combate e proteção da infantaria, tendo em vista que a superioridade dessas proteções é fator decisivo para o êxito

em conflitos desde a antiguidade, permitindo que os militares cumpram as missões do melhor modo e com menor desgaste. Além de verificar se quem está utilizando este equipamento está realmente seguro e quais são suas limitações.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Estudar a funcionalidade e efetividade da blindagem do colete balístico usado no Exército Brasileiro.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Apresentar as propriedades físico-químicas dos materiais e analisar a estrutura dos componentes do colete balístico do Exército Brasileiro.

Explicar o porquê de esses materiais terem sido escolhidos como proteção balística e quais suas limitações, dentro dos níveis de proteção segundo a norma NIJ STD 0101.04 (2000).

Verificar, através de militares que já utilizaram com certa frequência o colete, suas características tanto positivas quanto negativas, referentes a aspectos como mobilidade e conforto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 POLÍMEROS

Etimologicamente, a palavra polímero significa muitas partes. Um material polimérico pode ser considerado como constituído por unidades ligadas quimicamente entre si de modo a formar um sólido. Estes materiais são usados em uma ampla diversidade de aplicações de compósitos, bem como em grandes quantidades, em vista de suas propriedades sob temperatura ambiente, de sua facilidade de fabricação e de seu custo relativamente baixo (SANTOS, 2018).

A estrutura do estado sólido de um polímero consiste no modo como as cadeias moleculares estão empacotadas formando uma massa sólida. Este pode ser desordenado, formando a fase amorfa; ou ordenado, regular e repetitivo, definindo a fase cristalina (CANEVARO JÚNIOR, 2010).

As fibras Kevlar possuem propriedades únicas. A resistência à tração e o módulo são substancialmente maiores e o alongamento da fibra é significativamente menor para as fibras de Kevlar do que para outras fibras orgânicas. Elas possuem, porém, baixa resistência à compressão, sendo esta, apenas um oitavo da resistência à tração. Por outro lado, apresentam textura flexível, não frágil como as fibras de vidro ou de grafite, sendo bastante semelhantes às fibras têxteis de vestuário, permitindo assim, serem tecidas em tramas muito menores e complexas que o permitido nos tecidos de vidro, e assim podem ser facilmente tecidas em teares para tecidos convencionais (MENDONÇA, 2005; AGARWAL; BROUTMAN; CHANDRASHEKHARA 2015).

### 2.2 CERÂMICOS

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 (WILKINS, 1978).

No impacto de projéteis, em blindagens balísticas de material cerâmico, a cerâmica é danificada devido a sua natureza frágil, em comparação com os metais que são mais dúcteis, um cone de fraturas é formado depois do impacto surgem trincas na parte posterior da cerâmica propagando-se na direção do projétil, no sentido oposto ao seu deslocamento

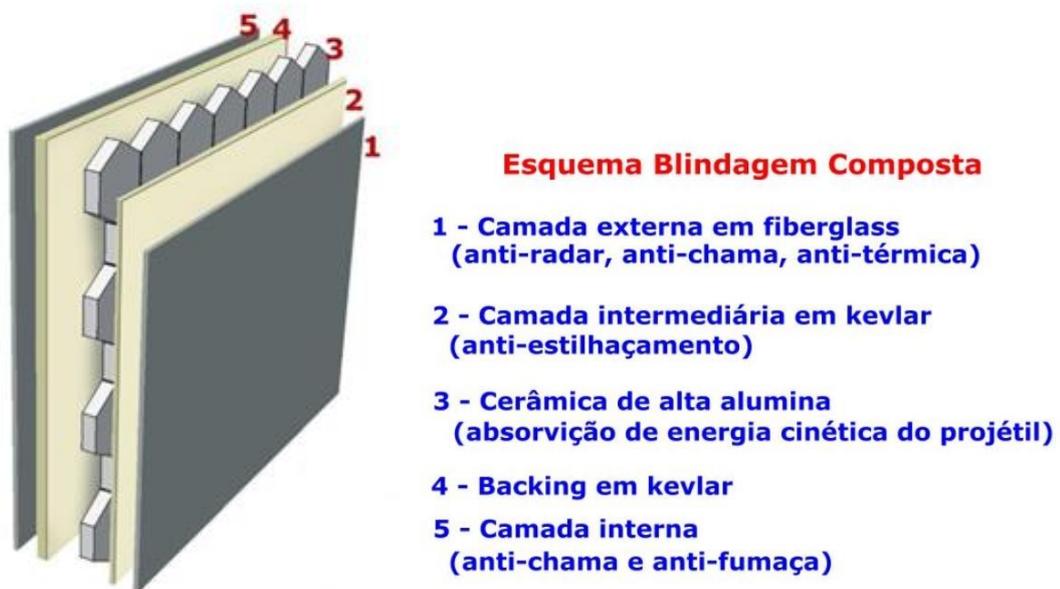
mesmo. Em consequência disso, uma fragmentação generalizada ocorre, o projétil poderá avançar se a cerâmica for pulverizada para os lados, mas como normalmente está entre tecidos de polímero e com outras placas lado a lado, o projétil sofre muita resistência ao avanço, sofrendo inclusive erosão do atrito com o pó cerâmico, o que causa sua fragmentação (TORRES, 2005).

### 2.3 MATERIAIS COMPÓSITOS

De forma simplificada, pode-se dizer que materiais compósitos são aqueles constituídos pela combinação de pelo menos 2 materiais, que após a mistura ainda podem ser perfeitamente identificados em sua massa, sendo as propriedades do compósito superiores a de seus constituintes em separado (BERNARDI, 2003).

As blindagens de materiais compósitos são hoje o que se tem de mais moderno e efetivo em termos de proteção balística (AJDELSZTAJN, 1998). 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 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 (GONÇALVES; MELLO, 1999).

Figura 2 – Exemplo de blindagem composta



## 2.4 FUNCIONALIDADE DO COLETE BALÍSTICO

Em tempos atuais a tropa é empregada cada vez mais em ambientes urbanos, em áreas edificadas no contexto das Ações de Apoio à Órgãos Governamentais, que compreendem o emprego do Poder Militar na defesa dos interesses nacionais, em locais restritos e determinada por meio de uma combinação de atitudes coercitivas limitadas para restaurar ou manter a ordem pública ou a paz social, ameaçadas por grave e iminente instabilidade institucional ou atingidas por calamidades de grandes proporções, provocadas pela natureza ou não, e de ações construtivas, para apoiar esforços de estabilização, de reconstrução, de restauração e/ou de consolidação da paz (VIEIRA; MOREIRA, 2017).

Observou-se que uso diário do colete balístico por militares do exército pode ocasionar distúrbios osteomusculares, bem como desencadear dor, mesmo não sendo fator de limitação funcional grave para desempenho das atividades diárias (VIEIRA; MOREIRA, 2017).

Figura 3 – Emprego do colete balístico em Operações de GLO e defesa de ponto forte



Fonte: GALANTE; POGGIO (2018)

Muitas roupas equipadas com funcionalidades de proteção que enfatizam a comodidade das roupas foram fabricadas com base nessa tendência. Portanto, roupas com funcionalidades específicas, como coletes à prova de balas, ainda devem proporcionar conforto (LEE; TAI; CHEN, 2018).

Itens específicos de roupas, como coletes balísticos, devem não apenas desempenhar funções de proteção, mas também não devem influenciar negativamente o corpo dos usuários. O nível de desconforto causado por coletes à prova de balas resulta da perda de energia diminuída do corpo humano e de distúrbios na transferência de calor (ZWOLIŃSKA et al., 2013).

#### 2.4 EFETIVIDADE DO COLETE BALÍSTICO

Diferentemente das armaduras antigas, a blindagem pessoal moderna deve ser o mais leve e interferir o mínimo possível na mobilidade do usuário. Por isso utilizam-se placas cerâmicas e, devido às características específicas desses materiais obtêm-se resultados melhores do que se utilizassem metais (MARINS, 2008).

As placas balísticas têm 250 mm de largura e 300 mm de altura (10 pol x 12 pol), sendo alojadas nos bolsos para isso existentes na capa. Podem ser fabricadas com materiais cerâmicos, lâminas de polietileno prensadas, lâminas de poliamida prensadas, ou mesmo pela combinação de materiais, devendo ser classificadas no Nível de Proteção III, de acordo com a NIJ STD 0101.04 (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2009).

### 3 REFERENCIAL METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE PESQUISA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos publicados na internet e em livros para coletar informações a respeito das características dos materiais compósitos do colete balístico. Foi realizada também uma pesquisa de campo, através de um questionário digital enviado para os militares, para coletar informações sobre a adaptabilidade do colete balístico com integrantes do 6º Batalhão de Infantaria Leve.

A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida através do estudo de diversos materiais compósitos que ofereçam proteção nível III, ou seja, contra munição de calibre até 7,62mm NATO FMJ. O padrão necessário para esses compósitos está baseado na norma internacional NIJ STD 0101.04, que especifica o desempenho requerido para que as blindagens satisfaçam as necessidades das FFAA por alta qualidade na segurança.

Outra norma analisada foi a Norma de Especificação do Colete de Proteção Balística Nível III – Operacional, do Exército Brasileiro. Ela especifica detalhadamente como deve ser constituído o colete, com dimensões e pesos para cada tamanho, mas deixa a cargo do fabricante os materiais que serão utilizados nos painéis ou insertos balísticos e nas placas balísticas, contanto que satisfaçam os níveis IIIA para os painéis e III para as placas, segundo NIJ STD 0101.04.

Figura 4 – Vista frontal e dorsal do colete utilizado pelo EB



Fonte: EXÉRCITO BRASILEIRO (2009)

Ao verificar quais materiais se enquadram nas normas, também foram analisadas as características que tornam esses compósitos bons para proteção balística. As variáveis analisadas foram: absorção de impacto (dissipação de energia cinética), peso e custo para a produção.

A pesquisa bibliográfica também englobou estudos sobre problemas ergonômicos causados pela proteção balística, sendo tais problemas analisados e verificando-se possíveis melhorias para minimizá-los.

Foi realizada também uma pesquisa de campo para avaliar, do ponto de vista dos militares que já utilizaram o colete balístico em missões reais, quais são seus defeitos e o que eles afetam nas operações.

Por fim, foi realizado o teste de uma placa balística nível III, com disparo de munições calibre 9mm, 5,56mm e 7,62mm para verificar sua resistência e os danos causados a ele após os impactos.

## 3.2 MÉTODOS

Foi realizada uma avaliação referente a efetividade e a funcionalidade do colete balístico empregado pelo EB.

Para incrementar o estudo dos problemas ergonômicos causados pela proteção, além do questionário feito, foram levados em consideração também estudos norte-americanos sobre o tema. Mesmo com algumas diferenças entre o colete do EB e dos EUA, a distribuição de peso e o formato são muito similares, portanto os problemas causados são os mesmos.

### 3.2.1 Análise qualitativa dos materiais

Foi necessário estudar artigos a respeito de polímeros, cerâmicos, compósitos e balística. Dentro do assunto dos polímeros como são produzidos, trazendo suas reações de polimerização, suas classificações e a características que tornam alguns muito resistentes.

Sobre os materiais cerâmicos, também foi visto como são produzidos, através de reações químicas, suas classificações e características proporcionaram a utilização em coletes balísticos.

A respeito dos compósitos, foi visto quais características foram adquiridas pela junção de um determinado polímero com um cerâmico, e possíveis materiais que possam substituir os atuais utilizados pelo Exército Brasileiro.

O estudo de experimentos práticos, como artigos científicos que mostram os efeitos de disparos de armas de fogo com diversos calibres em materiais balísticos, também foram levados em consideração.

A realização do teste da placa balística aconteceu no estande de tiro da AMAN, com auxílio do Grupo de Tiro de Combate Agulhas Negras. Nele uma placa de proteção nível III foi submetida a dois disparos de pistola IMBEL calibre 9mm, dois disparos de fuzil IA2 calibre 5,56mm e fuzil PARA-FAL calibre 7,62mm a uma distância de quinze metros.

### **3.2.2 Avaliação da adaptabilidade**

Para ser verificado o estado das tropas que usam frequentemente o colete, foi analisada a resposta de um questionário digital respondido por militares de diversas unidades de infantaria, o qual constata a mobilidade, o conforto e a operacionalidade referentes a proteção utilizada.

O questionário foi montado através do Google Forms, ferramenta essa que possibilita a criação de formulários e a análise das respostas, e nele o militar pôde apontar os problemas encontrados na utilização da proteção. A distribuição desse formulário foi feita por meio digital, assim como sua resposta.

As respostas foram dissertativas ao invés de alternativas para aumentar o leque de respostas e não induzir o militar a escolher uma das alternativas apresentadas. Assim tem-se uma real noção do que afetou o militar.

Além disso, diversas outras pesquisas, referentes a problemas ergonômicos e a adaptabilidade ao colete, foram analisadas para complementar o estudo.

### **3.2.3 Análise dos resultados obtidos**

Após a coleta das informações, foi feita uma verificação dos possíveis problemas causados pelo equipamento. Depois, foram discutidos os resultados e soluções para esses problemas. Além disso, foi tratado a respeito da utilização de outros materiais, analisados anteriormente, como possíveis substitutos dos atuais e que reduziriam o problema causado.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EFETIVIDADE DO COLETE BALÍSTICO

A efetividade desta proteção está relacionada a sua capacidade de resistir a disparos de munições calibre 9mm FMJ RN e 44 MAG JHP contra o painel balístico flexível e a disparos de munições calibre 7,62mm NATO FMJ contra o painel balístico flexível mais a placa balística.

Tabela 1 – Níveis de proteção balística

Níveis de Blindagem	Armamento	Projéteis	Munição de Ensaio	Energia Cinética(J)	Massa do Projétil	Velocidade do Projétil (m/s)	
Uso Permitido	I			22 LRHV Chumbo	133	2,6	230 +/- 12
				38 Especial RN Chumbo	342	10,2	259 +/- 15
	II-A			9mm FMJ	441	8	332 +/- 12
				357 Magnum JSP	740	10,2	381 +/- 15
	II			9mm FMJ	513	8	358 +/- 12
				357 Magnum JSP	921	10,2	425 +/- 15
	III-A			9mm FMJ	726	8	428 +/- 15
				44 Magnum SWC Chumbo	1411	15,55	428 +/- 15
Uso Restrito	III			M16/AR15 Colt 5,56x45mm FMJ	1796	3,6	980 +/- 15
				AK 47 7,62x39mm FMJ	1909	4,1	96 +/- 15
				FAL 7,62x51mm FMK	3408	9,7	838 +/- 15

Fonte: Inova Glass ([201-])

A tabela 1 mostra os níveis de proteção balística segundo NIJ STD 0101.04, norma esta que regulamenta até quais tipos de munições determinado equipamento deve suportar, baseado em seu nível. O Brasil se baseia nela pra a fabricação de seus coletes e outros tipos de materiais balísticos.

Além desses níveis mostrados, existe o nível IV que protege contra disparos de .30 M2 AP, porém não é encontrado em placas balísticas fornecidas pelo Exército, apenas em blindagens de viaturas e carros de combate.

#### 4.1.1 painel balístico flexível

O Kevlar ainda é o polímero predominante nas proteções balísticas, pois é cinco vezes mais resistente que o aço, oferece maior proteção contra fragmentação, é resistente a chamas, maleável e leve.

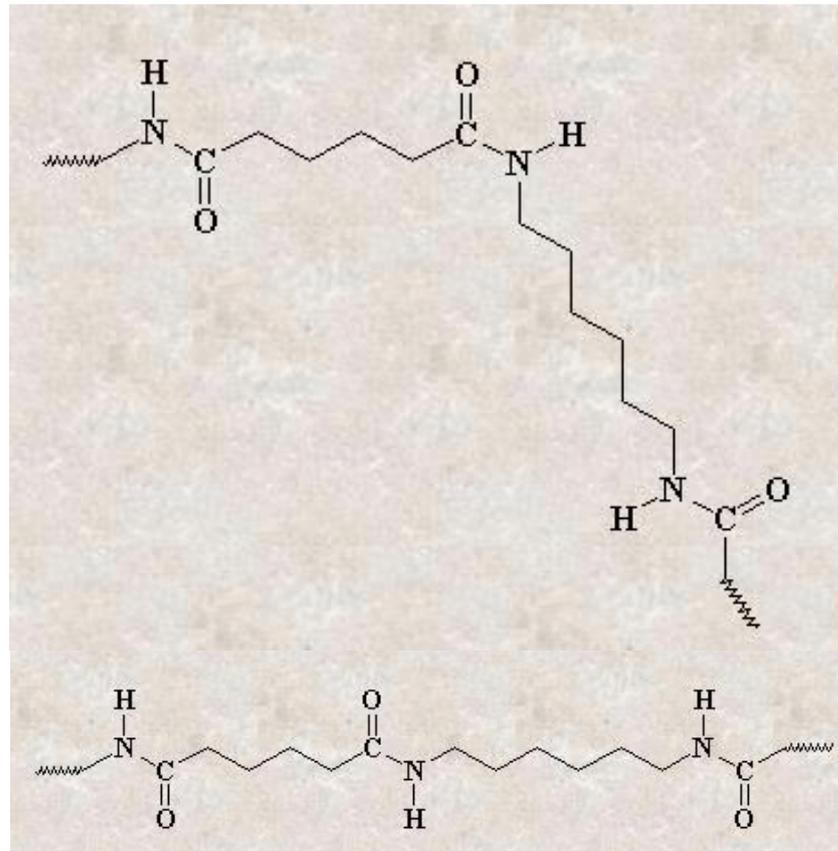
Ele é um polímero de condensação, pois há a liberação de água na reação de sua formação entre diácidos aromáticos com diamidas em elevadas temperaturas (figura 1). Mas também pode ser feito pela reação de cloreto de diácidos com diamidas a baixas temperaturas. No processo de produção para coletes balísticos, é formado através do processo “*air gap wet spinning*”, no qual uma solução concentrada de Kevlar, muito quente e viscosa, é forçada através dos pequenos furos de um *spinneret* (espécie de fiandeira). Em seguida, a solução passa por uma cortina de ar e entra em um banho de coagulação, no qual o solvente é extraído e as fibras solidificam-se. Por fim, ocorre o bobinamento das fibras obtidas, as quais serão posteriormente tecidas e originarão os coletes, que terão resistência proporcional à quantidade de camadas utilizadas para sua confecção (FERNANDES; MARTENDAL 2015).

É classificado como aramida porque cada segmento de sua estrutura é uma unidade química que contém quatorze átomos de carbono, dois átomos de nitrogênio, dois átomos de oxigênio e dez átomos de hidrogênio, sendo uma fibra orgânica da família das poliamidas aromáticas, isto significa que a mesma contém grupos amida e aromático.

As poliamidas aromáticas são ótimas fibras porque apresentam uma característica diferente das poliamidas não-aromáticas, como o Nylon 6,6. Nas poliamidas não-aromáticas existem duas posições para o monômero ficar: *cis-* e *trans-*.

Na figura 5 verifica-se duas posições possíveis, sendo que na posição *cis-* este polímero não formara uma fibra. Já na poliamida aromática, o monômero apresenta apenas a posição *trans-*, pois a cadeia aromática não possibilita que ocorra a posição *cis-*.

Figura 5 – Nylon 6,6 *cis*- e *trans*- respectivamente



Fonte: MATHIAS (2015)

Sendo assim, o Kevlar fica completamente esticado e forma uma excelente fibra. Essa propriedade faz com que aumente as forças intermoleculares, unindo isso as grandes forças das ligações intramoleculares, tornam esse material extremamente resistente a impactos. Quando um objeto em alta velocidade o atinge, sua estrutura coesa não se rompe facilmente, dissipando a energia cinética ao longo de sua estrutura e absorvendo o impacto.

#### 4.1.2 placa balística

Ela é formada por duas partes: placa cerâmica e um revestimento polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM).

Com relação aos materiais cerâmicos, existem alguns que são mais empregados, como a alumina, o carbeto de silício e o carbeto de boro. A norma que regulamenta os coletes balísticos do Exército brasileiro não restringe os materiais utilizados, contanto que sejam aprovados nos testes para proteção nível III e apresentem um custo baixo.

Portanto, a escolha e criação de novos cerâmicos é difícil, pois vários fatores são levados em conta para que sejam utilizados na proteção balística. Tais fatores são: Densidade, dureza, módulo de elasticidade, resistência mecânica, tenacidade à fratura e modo da fratura e essas propriedades influenciam, respectivamente, no peso do sistema de proteção, dano ao projétil, propagação das ondas de tensão, resistência a múltiplos impactos, durabilidade em campo e absorção de energia.

A alumina, também chamada de óxido de alumínio, apresenta fórmula molecular  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e massa específica de  $3,83 \text{ g/cm}^3$ . Sua baixa densidade, decorrente do grande tamanho médio de suas partículas, reflete em um peso reduzido da placa, porém, comparado com outros materiais ainda é relativamente elevado.

Tabela 2 – Propriedade das placas de aluminas de 6, 3 e 2 mm de espessura.

Propriedade	Alumina 6 mm	Alumina 3 mm	Alumina 2 mm
$\rho_{\text{aparente}}$ ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	3,85	3,84	3,82
$\rho_{\text{relativa}}$ (%)	96,7	96,5	96,0
Porosidade (%)	3,3	3,5	4,0
$E$ (GPa)	329	321	320
$V_{\text{som}}$ ( $\text{m.s}^{-1}$ )	9945	9850	9865
$K_{Ic}$ ( $\text{MPa.m}^{1/2}$ )	3,8	3,7	3,7
Microdureza (GPa)	11,6	13,6	14,1
$\sigma_{\text{flexão}}$ (MPa)	247	189	166
$a^*$ ( $\mu\text{m}$ )	60	98	127
$B$ ( $10^{-8} \text{ m}^{-1}$ )	2,64	3,09	3,20
$D$ ( $10^{-12} \text{ s}^{-1}$ )	0,95	1,10	1,14

\* - tamanho do defeito natural.

Fonte: POLLA et al. (2019)

Considerando experimentos feitos com placas de alumina de 6,3 e 2 mm, foram encontrados alguns dados a respeito de propriedades importantes e que mostram as características que a torna um bom material balístico. Sendo  $\rho_{\text{aparente}}$  e  $\rho_{\text{relativa}}$  as massas específicas,  $E$  a elasticidade,  $V_{\text{som}}$  a velocidade de propagação no som,  $K_{Ic}$  a tenacidade à

fratura,  $\sigma_{\text{flexão}}$  a resistência a flexão,  $a$  o tamanho do defeito natural,  $B$  a fragilidade e  $D$  a capacidade de dissipação de energia balística, tem-se a seguinte tabela:

Além disso, em cima dos mesmos estudos, encontramos uma tabela 3, que mostra o quanto de penetração houve com um disparo de 7,62mm em 21 painéis de alumina. Os ensaios foram realizados com placas de mesma espessura total de 6mm, sendo três delas de referência (REF) e dezoito placas multicamadas de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /epóxi (2C0, 2C1, 2CF2, 3C0 3C1, 3CF2).

Tabela 3 – Resultados do ensaio balístico das aluminas monolíticas e das estruturas multicamadas estudadas

Amostra	$d_{\text{conex}}$ (mm)	$d$ (mm)	DOP (mm)
REF/A	55,9	13,0	2,3
REF/B	52,5	11,3	2,4
REF/C	59,8	4,0	0,0
2C0/A	57,4	12,9	11,9
2C0/B	63,6	7,8	8,9
2C0/C	70,7	14,1	13,5
2C1/A	51,9	10,0	13,8
2C1/B	59,4	5,3	12,6
2C1/C	-*	20,4	12,0
2CF/A	70,7	7,3	11,8
2CF/B	49,1	11,2	16,7
2CF/C	-	23,1	15,6
3C0/A	48,5	6,8	25,4
3C0/B	45,9	13,3	17,0
3C0/C	-*	16,8	29,8
3C1/A	-*	27,1	33,2
3C1/B	61,4	5,4	23,2
3C1/C	49,3	10,8	20,3
3CF/A	51,8	16,6	32,9
3CF/B	58,7	8,2	21,6
3CF/C	-	24,6	21,7

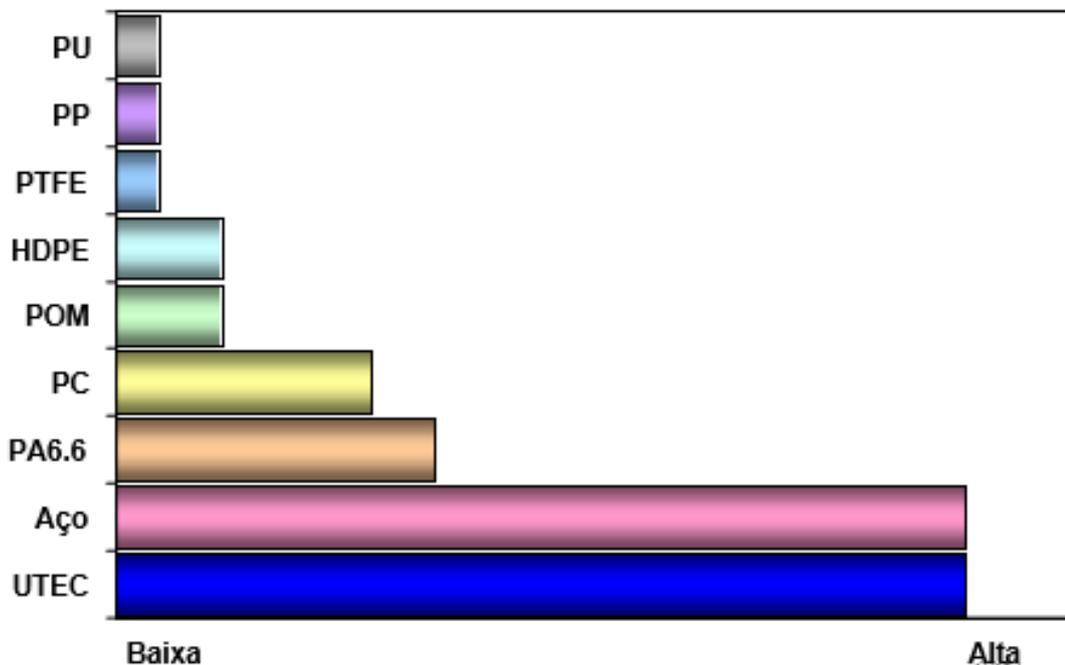
$d_{\text{conex}}$  - diâmetro do cone de fratura;  $d$  - distância do ponto atingido pelo projétil em relação ao centro da placa alvo; DOP - profundidade de penetração do projétil; \* - não foi possível medir devido ao desprendimento das placas do mosaico.

Pode-se observar que quanto maior a distância do ponto atingido para o centro da placa, maior a penetração do projétil, mostrando uma redução no desempenho balístico. Além disso, as placas de referência apresentaram melhor desempenho, isso devido a uma penetração do projétil significativamente menor nas placas mencionadas. As placas multicamadas tiveram uma maior penetração conforme aumento do número de camadas, porém, houve menor propagação dos danos radiais.

A alumina se mostrou um bom material balístico, seu custo baixo de produção também é um fator que influenciou seu grande emprego. Existem algumas variações desse material, como a alumina adicionada de zircônia tetragonal, melhorando significativamente suas características, porém o elevado custo torna difícil para a utilização âmbito Exército.

A placa balística é composta de uma interface cerâmica e uma camada de polímero, normalmente polietileno de ultra-alto peso molecular (PEUAPM). Este polímero é encontrado pelo nome comercial UTEC<sup>®</sup>, apresenta densidade média de  $0,93\text{g/cm}^3$ , é semicristalino e seu diferencial está no elevado peso molecular devido a sua longa cadeia (bem maior que a de outros polietilenos). Aliado a isso, o baixo número de ramificações e fortes ligações intermicelares garantem ao PEUAPM excelente resistência a impactos.

Gráfico 1 – Resistência do UTEC<sup>®</sup> em comparação com outros materiais



Fonte: FARIAS; SANSON; CALUMBY (2007)

O gráfico apresenta um comparativo entre diversos materiais e verifica-se que a resistência do PEUAPM é equivalente a do aço, sendo que sua massa específica é consideravelmente menor. Com isso, este polímero se tornou um dos mais empregados para a proteção balística em conjunto com um material cerâmico.

Existem variações na constituição da placa, pois como foi dito, as normas regulamentares do Exército não restringem os materiais, contanto que forneçam o nível de proteção adequado. Uma dessas variações é a placa constituída inteiramente de polímero, com várias camadas unidas por epóxi.

#### **4.1.3 estrutura completa do colete balístico**

Após a análise dos componentes individuais do colete balístico, tem-se a estrutura completa dessa proteção. Ela é composta por uma capa externa, painel balístico flexível e placas balísticas.

A capa externa é composta por um tecido impermeável, com formatos e dimensões dos painéis balísticos. Ela será objeto de estudos mais aprofundados posteriormente, pois como não fornece a proteção balística e é apenas o suporte para os painéis e placas balísticos, ela está relacionada com a funcionalidade do colete.

O painel balístico flexível é composto, principalmente, de fibra aramida (Kevlar) e fornece proteção nível IIIA sem a presença da placa balística. Ele é dividido em três partes: parte dorsal, frontal esquerda e frontal direita. A parte frontal é dividida em duas, pois o fechamento do colete é realizado pela frente, através de um sistema de velcro.

A placa balística é formada por um compósito cerâmico e polimérico, normalmente o cerâmico é a alumina e o polímero é o PEUAPM. Ela é colocada dentro de um bolsão na parte frontal e dorsal do colete, fornecendo proteção nível III.

As placas comumente usadas precisam ser empregadas em conjunto com os painéis balísticos flexíveis para fornecerem esse nível de proteção. Porém, o EB também utiliza placas “stand alone”, que fornecem proteção nível III mesmo sem os painéis conjugados.

Alguns testes realizados com as placas comuns mostram que elas resistem ao impacto de 7,62mm e o painel seria uma segurança adicional. Porém, várias vezes em operações, elas foram ultrapassadas por projeteis e este parou na fibra de aramida, como mostra na figura 6 de um colete que foi atingido em operação no Rio de Janeiro.

Vários fatores podem ser considerados para que em alguns casos a placa agüente e em outros não. Um deles é a região do impacto, no caso da figura 6 foi próximo a extremidade, e

estudos de resistência dos materiais mostram que quanto mais distante do centro, ou próximo da extremidade, menor a resistência. Portanto, não se pode confiar que a placa comum isolada protegerá em nível III, sendo necessária a utilização conjugada com os painéis como diz a portaria normativa nº14/MD, de 23 de março de 2018, anexo IV e V.

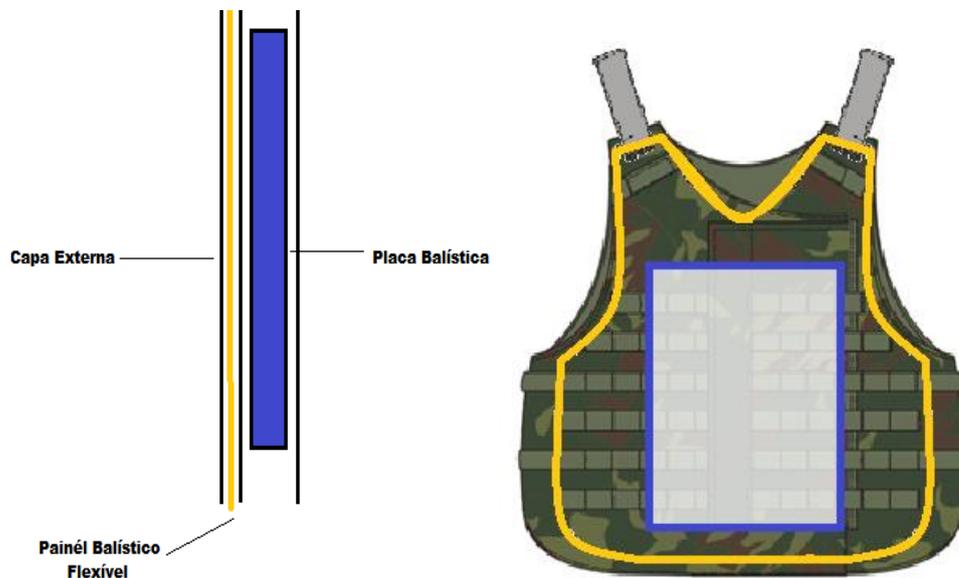
Figura 6 – Colete Balístico após impacto de munição 7,62mm



Fonte: SILVINO JUNIOR (2020)

Através da Figura 7, pode-se ver como funciona o colete, unindo-se todas suas estruturas de proteção. A parte central, na cor azul, se encontra a placa balística e, a retaguarda desta, se encontra o painel balístico flexível, na cor amarela, atingindo o nível III. Este nível protege até contra disparos de munição 7,62mm NATO FMJ.

Figura 7 – Composição do Colete Balístico empregado pelo Exército Brasileiro



Fonte: AUTOR (2020)

Nessa constituição, a placa balística absorve o impacto inicial e dissipa a energia cinética do projétil, na maioria das vezes ela consegue conter o disparo sem ser perfurada. Por se tratar de material cerâmico se estilhaça e esses estilhados são contidos pela PEUAPM, que também ajuda na absorção de impacto. O painel balístico flexível a retaguarda possui uma superfície maior, protegendo regiões que a placa não consegue, além de absorver o impacto restante do projétil caso perfure e ultrapasse a cerâmica.

Algumas variações de materiais que compõem essa proteção são encontradas, como a utilização de outras fibras sintéticas similares ao Kevlar. São elas: Spectra Gold Flex, Vectran, Twaron e Dyneema.

Essa diversidade de materiais utilizados se dá pela flexibilidade que o Exército Brasileiro garante aos fabricantes, sendo necessário apenas atender as especificações presentes na Norma Colete de Proteção Balística Nível III – Operacional.

Dentre os materiais citados, o que apresenta as melhores características é a fibra Dyneema, sendo 15 vezes mais forte que o aço e com massa específica 40% menor que o Kevlar. Este material é utilizado em coletes encontrados no Comando Militar do Norte, Comando Militar do Amazonas e Comando Militar do Oeste, pois ajuda a dar fluidez positiva à proteção, sendo este um importante fator quando se trata de ambientes operacionais que apresentam contato diário com deslocamentos fluviais.

As características e especificações desses coletes flutuantes são encontradas na portaria normativa nº14/MD, de 23 de março de 2018, anexo V.

#### **4.1.4 Teste com placa balística nível III**

O teste da placa balística teve o intuito de verificar se ela atendia ao nível de proteção exigido, no caso nível III, e quais danos ela e o militar que a estivesse usando sofreriam, para isso, foram realizados disparos de três tipos de calibres: 9mm, 5,56mm e 7,62mm. Essa proteção é do modelo “Stand Alone”, utilizada antigamente pelo Exército em coletes sem painel flexível. Ela é constituída inteiramente camadas de polímero, e em sua retaguarda, um material mais macio para não lesionar o combatente caso seja alvejado em seu equipamento. (figura 8a).

Inicialmente, a placa foi dividida em duas áreas por uma fita branca, para delimitarmos as regiões que seriam realizados os disparos de 5,56mm (parte inferior) e de 9mm (parte superior). Em seguida foi montado um suporte com alvo a retaguarda para

verificar, com certeza, a perfuração dela. O atirador ficou a uma distância de quinze metros do sistema montado e realizou dois tiros com cada armamento, para se ter uma maior certeza de sua resistência.

Figura 8 – Vista lateral e vista frontal da placa e sistema placa/suporte/alvo (*a*), *b*) e *c*), respectivamente)

*a)*



*b)*



*c)*



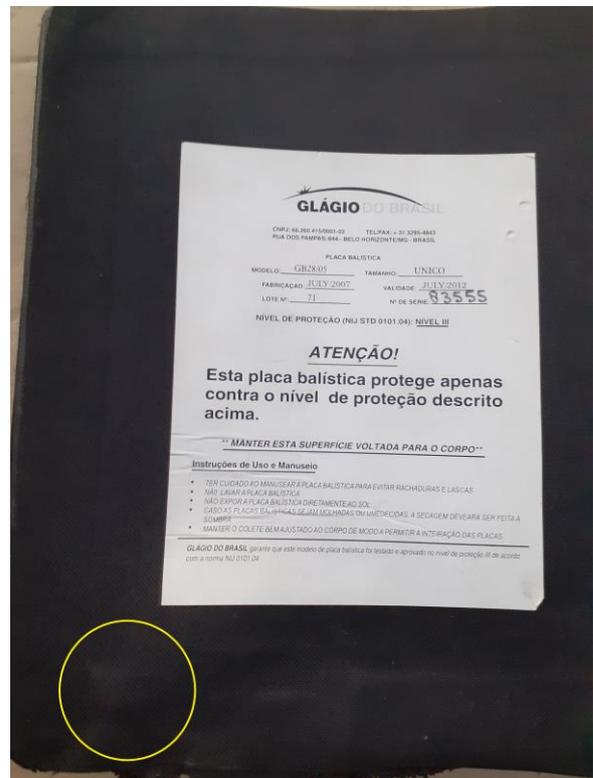
O primeiro teste foi realizado utilizando-se o fuzil IA2 calibre 5,56mm e efetuando dois disparos na região inferior da placa balística. Como resultados, tiveram penetrações médias na proteção, perfurando menos da metade de suas camadas. A deformação da retaguarda da placa foi baixa, gerando apenas um pequeno estufamento, tanto da região do primeiro quanto do segundo impacto.

Figura 9 – Vista frontal e traseira da placa balística após impacto munição 5,56mm (a) e b), respectivamente)

a)



b)



Fonte: AUTOR (2020)

O primeiro disparo aconteceu na região circular 1 e o segundo na região circular 2, como indica a figura 9a. Esse teste mostra que, caso um militar estivesse usando essa proteção, não sofreria danos graves ao ser alvejado por tiros desse calibre, e sentiria apenas um impacto moderado e relativamente concentrado na região atingida.

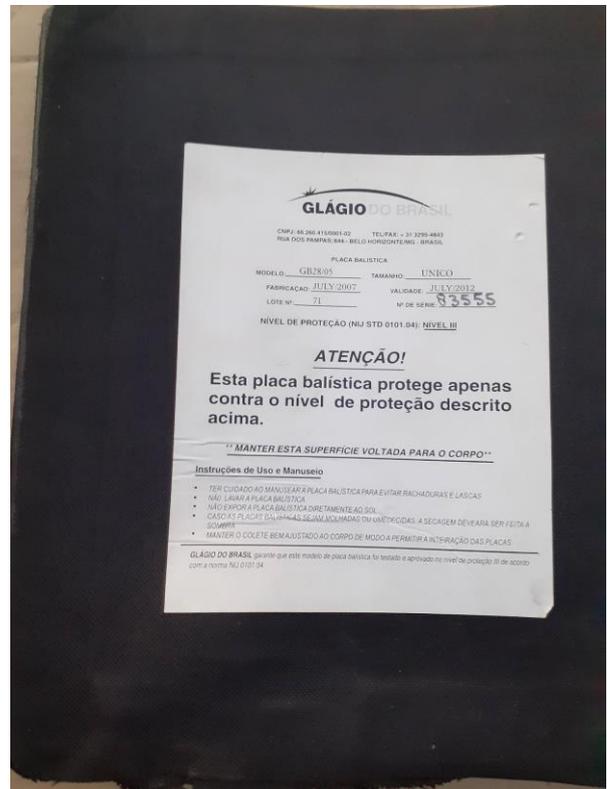
No teste seguinte, foram realizados dois disparos com pistola IMBEL calibre 9mm, e observou-se que a penetração foi baixa, menor que a do teste anterior, perfurando menos de um terço das camadas do polímero. Além disso, não houve deformação na retaguarda da placa, mostrando uma boa absorção do impacto.

Figura 10 – Vista frontal e traseira da placa balística após impacto munição 9mm (a) e b), respectivamente)

a)



b)



Fonte: autos (2020)

Este segundo experimento mostrou que, caso o militar estivesse usando essa proteção e fosse atingido por disparos deste calibre, não sofreria dano algum, apenas sentiria um impacto fraco e distribuído no colete.

O último teste foi realizado efetuando dois disparos com o fuzil PARA-FAL de calibre 7,62mm sobre a placa balística. Por se tratar da munição com maior energia cinética dentre as testadas (cerca de duas vezes maior que a energia da munição 5,56mm e quase cinco vezes a da munição 9mm), ela ocasionou o maior dano a proteção.

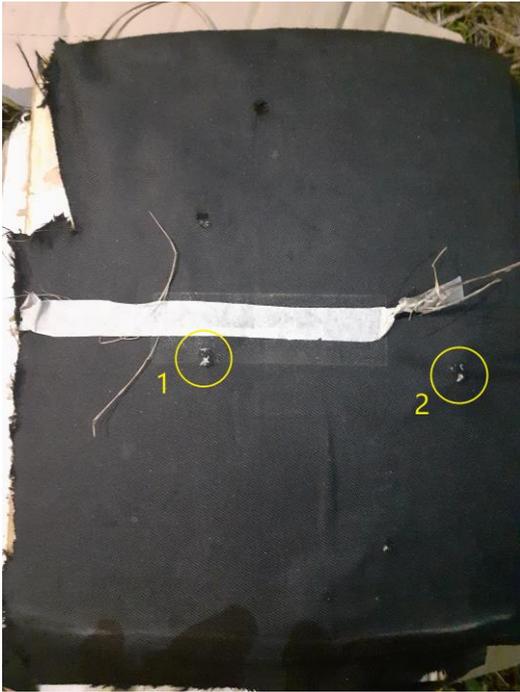
Os disparos geraram grande penetração, com aproximadamente 70% das camadas perfuradas, e grande deformação da área a retaguarda da placa. Essa deformação mostra que, se algum militar a estivesse usando, teria sofrido lesões moderadas, mais especificamente nas costelas.

Após o primeiro disparo a placa continuou inteira, mesmo que com grandes prejuízos. Porém após o segundo disparo, os dois blocos de camadas poliméricas ligadas por epóxi e a

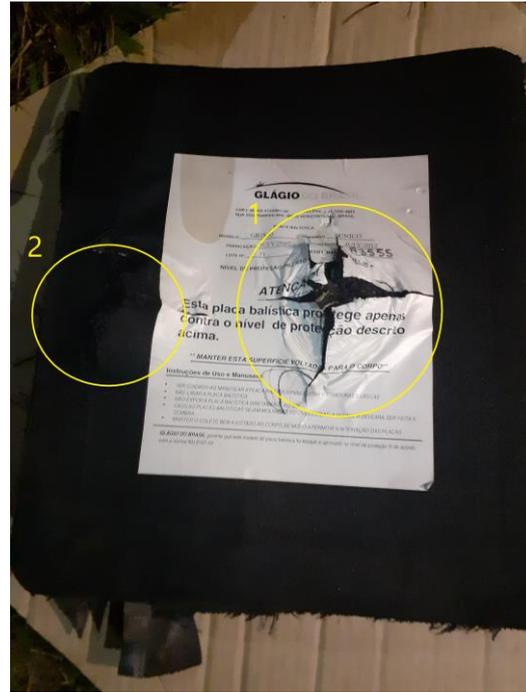
região de retaguarda da placa, que é constituída de um material mais macio, se soltaram e se espalharam.

Figura 11 – Vista frontal, traseira, da região entre primeiro e segundo blocos e da região entre segundo bloco e material da retaguarda (a), b), c) e d), respectivamente)

a)



b)



c)



d)



Fonte: AUTOR (2020)

Pode-se observar que o projétil transfixou completamente o primeiro bloco de polímero e parte do segundo bloco. A parte da retaguarda, constituída de um material preto e não balístico, sofreu grande deformação e chegou a rachar no local que sofreu o primeiro disparo (figura 11*b*), mas foi o segundo disparo que conseguiu perfurar mais camadas de polímero ( figura 11*c*).

Através desses três testes conclui-se que ela consegue garantir a segurança que seu nível de proteção exige. Além disso, foi observado, principalmente no teste com munição 7,62mm e após a análise feita anteriormente com as placas de alumina, que quanto mais para as extremidades, menor a resistência balística e maior a penetração.

#### 4.2 FUNCIONALIDADE DO COLETE BALÍSTICO

Esta década é caracterizada pelo grande emprego do Exército Brasileiro em operações de GLO e manutenção da paz. Com isso, tropas convencionais foram empregadas em larga escala e os equipamentos de proteção individual distribuídos pela Cadeia de Suprimento foram colocados realmente a prova em situações de combate real.

Mudanças na mentalidade, reformulação da doutrina, como a criações de novos manuais e atualização de antigos, e melhoria dos equipamentos foram coisas que só esse emprego poderia gerar. Tropas que não são empregadas tendem a ter uma defasagem doutrinária e utilizarem equipamentos obsoletos.

Essas mudanças fizeram com que atenções se voltassem para o colete balístico e o quão funcional ele era. Porém, a norma que regulamenta as suas especificações é de 30 de julho de 2009, ou seja, final da década passada quando a missão de paz no Haiti estava em seu começo e as operações de pacificação no Rio de Janeiro nem haviam começado.

Portanto, esta proteção possui grandes falhas e características que fazem sua funcionalidade ser reduzida. Sua defasagem e obsolescência são tanta que tropas especiais e batalhões de grande emprego utilizam coletes da WTC em suas operações, ao invés do material distribuído para o restante dos militares.

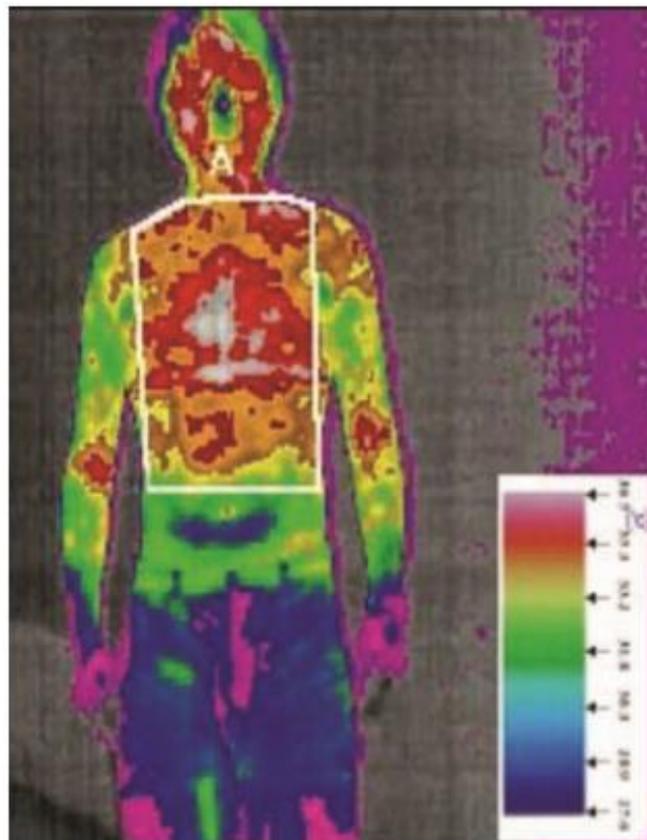
O estudo da funcionalidade do colete balístico utilizado pelo EB está pautado em fatores como o isolamento térmico, distribuição do peso e lesões que ele pode acarretar aos militares e mobilidade e capacidade de ajustagem. Com isso, se terá uma ideia de possíveis modificações para tornar este material mais moderno e garantir aos combatentes melhores desempenhos.

#### 4.2.1 isolamento térmico

O Brasil é um país de clima predominante tropical e equatorial, isso significa que as temperaturas médias são elevadas e a realização de esforço físico em tal condição causa grande transpiração nos militares.

O corpo humano reduz em 20% o calor corpóreo através da evaporação do suor da pele e é o método mais eficaz de reduzir a temperatura interna durante atividades físicas, e também a forma predominante em temperaturas superiores a 30°C. Sem essa perda, a temperatura tende a se elevar e causar hipertermia e desidratação, e com isso, o militar começa a sentir tonturas, náuseas, câimbras, desmaios, entre outros sintomas. Portanto, a necessidade de um colete que possibilite boa troca de calor com o ambiente se torna fundamental.

Figura 12 – Temperatura da pele com a utilização de colete balístico nível IIIA (sem placa balística), após a realização de exercícios físicos moderados



Fonte: LEE; TAI; CHEN (2008)

A figura 12 mostra a distribuição do calor corporal, sendo que a cor vermelha indica temperatura mais elevada e a cor violeta temperatura mais baixa. É visível que a região do tronco é a parte mais quente, pois é onde se encontra o coração e maior parte do sangue do corpo. Outro fator é que nessa região também se encontra o colete balístico, e com isso ocorre um isolamento térmico, o que impede a redução da temperatura.

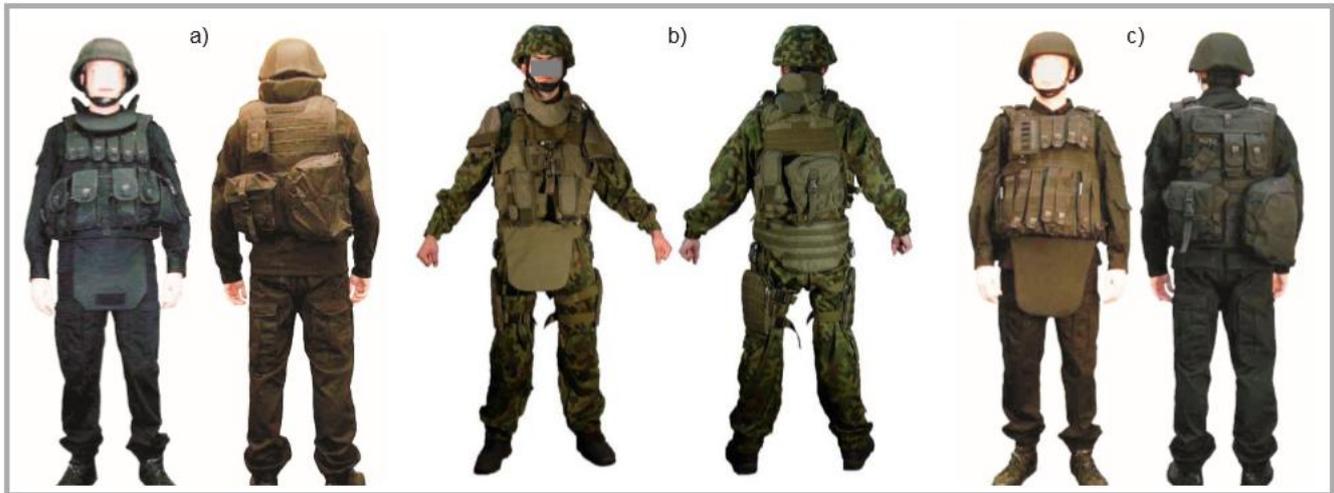
A capa do colete balístico do EB é dividida em duas partes: malha da face externa e malha da face interna. A malha da face externa é feita com fio de poliamida 6.6, de média tenacidade, texturizado a ar, “CORDURA” tipo 440. Este material apresenta facilidade de limpeza, secagem rápida, grande resistência a rasgos, perfurações e abrasão. Além disso, ao tecido da face externa da capa, será aplicado um acabamento de proteção contra radiação ultravioleta, com fator de proteção UFP 40.

Segundo Norma Colete De Proteção Balística Nível III – Operacional, a malha da face interna é de 100% poliéster hidrofílico com engenharia têxtil de três camadas integradas (3D) feita em processo único em malharia circular, com gramatura superior a 300 g/m<sup>2</sup>. O fio usado na face (direito) e verso (avesso) da malha 3D é de 100% poliéster multifilamento conferindo toque suave e facilitando o transporte e dissipação da umidade. O fio usado na camada interna é de poliéster monofilamento, que confere a característica tridimensional da estrutura, criando uma câmara de ar totalmente permeável entre o direito e o avesso da malha. Esta câmara de ar possibilita rápida dessorção do vapor de umidade e controle da temperatura dentro do equipamento. O caráter hidrofílico do poliéster provoca um aumento no índice de permeabilidade ao vapor e, por consequência, aumenta a respirabilidade do tecido, em contrapartida causa um aumento no peso devido a absorção de líquidos.

Um componente que agrava a situação do isolamento térmico é a presença do painel balístico flexível de aramida na parte frontal e dorsal, pois ele isola ainda mais o calor na região do tronco e a temperatura corporal tende a aumentar. A placa balística também causa esse efeito, mas como apresenta uma superfície consideravelmente menor que a painel balístico flexível, o efeito é menor.

A figura 13 mostra três tipos de coletes balísticos (A,B e C) que possuem painéis balísticos flexíveis de Dyneema, na parte frontal e dorsal, preenchendo a maior parte do revestimento interno da capa. Além disso, possuem a capacidade de receberem placas balísticas em seu interior. Eles são modelos norte-americanos, porém apresentam características similares aos coletes brasileiros em termos de isolamento térmico por utilizarem materiais similares no painel balístico.

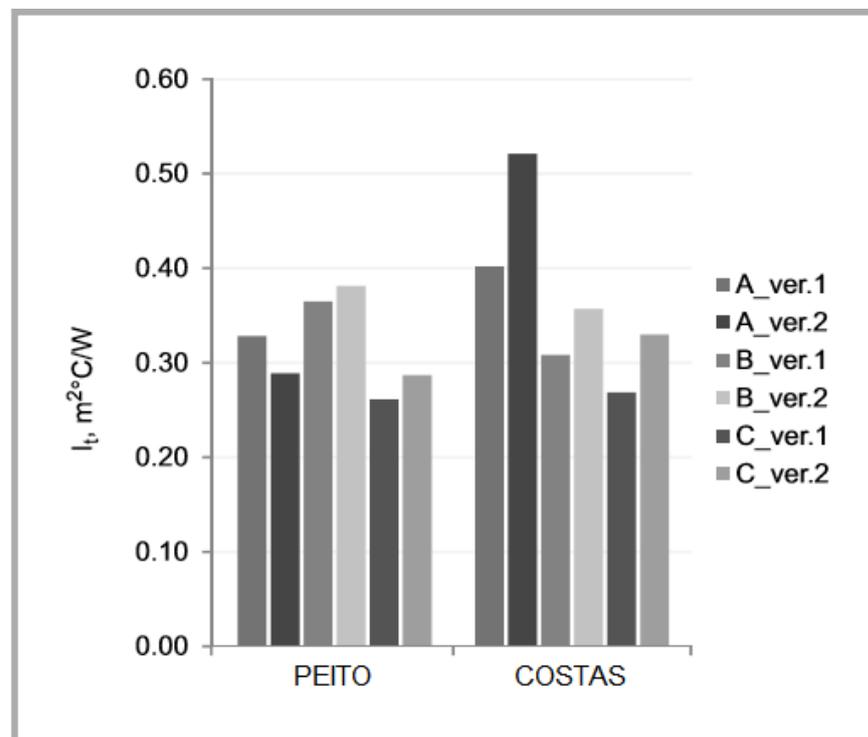
Figura 13 – Colete balístico: a) tipo A, b) tipo B e c) tipo C



Fonte: ZWOLIŃSKA et al. (2013)

No gráfico a seguir, gráfico 2, pode-se observar os valores de isolamento térmico dos coletes A,B e C com a verificação 1 (somente painel balístico flexível) e verificação 2 (painel balístico flexível e placa balística). Essas medições são feitas tanto para a parte frontal (peito) quanto para a parte traseira (costas).

Gráfico 2 – Isolamento térmico local dos segmentos peito e costas



Fonte: ZWOLIŃSKA et al. (2013)

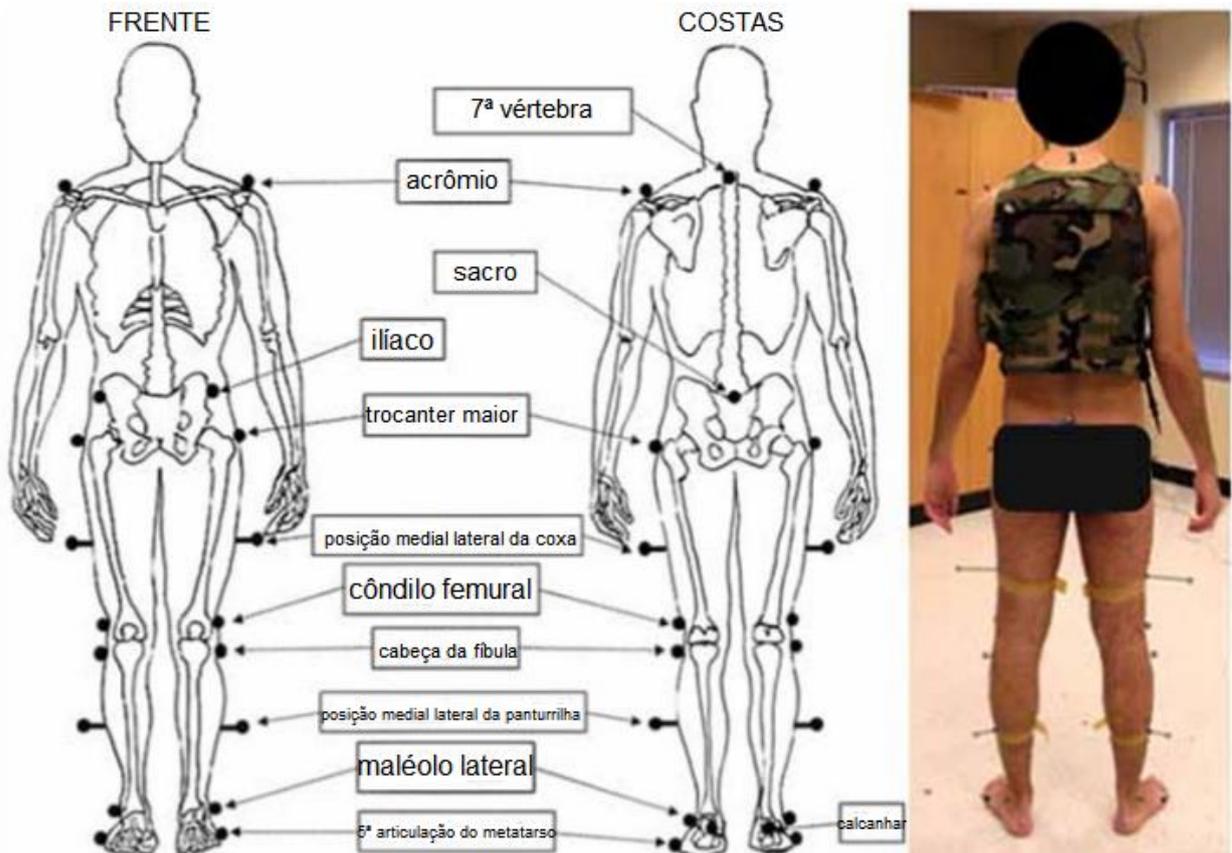
A análise dos dados permite concluir que a placa de polímero sozinha já causa grande isolamento térmico e, por consequência, dificuldade de dissipação do calor. O Dyneema é uma fibra densa, de baixa porosidade e baixa condutividade térmica, assim a energia térmica fica retida tanto no peito, quanto nas costas.

Além disso, com exceção do colete A no teste relativo ao peito, houve um aumento no isolamento térmico após a adição da placa balística. Isso ocorreu, pois ela impediu ainda mais a troca de calor do corpo para o ambiente, por se tratar de um material denso e espesso. E como foi dito anteriormente, essa variação só não foi maior devido a área da placa não ser tão grande.

A única exceção no teste se deu na variação do isolamento térmico referente a parte do peito do colete A, porém isso pode ser explicado, pois, com a adição da placa balística houve uma redução da capacidade de ajuste da proteção e, com isso, uma redução do isolamento térmico.

#### 4.2.2 distribuição do peso e lesões que ele pode acarretar aos militares

Figura 14 – Distribuição do peso do colete balístico



Fonte: PARK et al. (2013)

O peso médio do colete balístico mais o colete modular, com todo o material necessário para sair em operação, é cerca de 20Kg. Essa carga adicional no tronco pode causar problemas tanto na região lombar, quanto no joelho e coluna. A figura 14 mostra as regiões do corpo mais afetadas com esse peso adicional.

O uso por longos períodos desta proteção gera um sensível aumento no peso e força musculaturas e articulações mais do que estão acostumadas. O principal ponto de apoio do colete é na parte superior do tronco, na região do músculo trapézio, e caso essa musculatura esteja fraca, além de fortes dores na região, poderá ocorrer lesões na articulação que liga o acrômio com a escápula.

Outra região que sofre desgaste com a utilização desse equipamento é a lombar, principalmente com movimentos que o militar realiza ao abaixar. Uma pesquisa feita mostrou que somente 2% dos entrevistados não sentiram dores lombares com o uso do colete balístico, os que sentiam frequentemente dores foram de quase 40%. Os resultados são mostrados na tabela 4.

Tabela 4 – Frequência de dores lombares após uso do colete balístico

<b>Frequência de Dores Lombares</b>	<b>Amostragem</b>	<b>Total</b>	<b>% Amostragem</b>
Nunca	1		2%
As Vezes	18		36,8%
Frequentemente	19		38,8%
Sempre	11		22,4%
<b>TOTAL</b>	<b>49</b>		<b>100%</b>

Fonte: VIEIRA; MOREIRA (2015)

Os membros inferiores também são afetados por esse acréscimo de carga, pois são eles que sustentam todo o peso do corpo. Andar por muito tempo e saltar de viaturas causa grande impacto nas articulações do quadril e, principalmente, joelho e tornozelo, além disso, a elevação do centro de massa gera maior desestabilização e facilita torções dessas partes do corpo.

As lesões nessas articulações, diferentemente das musculares, são de demorada recuperação e, quando ocorrem durante um conflito, tiram o combatente de ação imediatamente. Com isso, ao ocorrer tal situação, além de perdermos o militar ferido,

perdemos o outro que necessita ajuda-lo a se retirar da zona de perigo, e mais um para carregar os materiais e equipamentos.

#### 4.2.3 mobilidade e capacidade de ajustagem

Dentre os fatores da funcionalidade do colete balístico utilizado pelo Exército Brasileiro, o que se mostra mais defasado e com maior necessidade de mudanças é este. Além disso, este é o fator com maior influência na operacionalidade da tropa, pois afeta a capacidade de uma fração de realizar movimentos, como se abrigar, tomar posições de tiro estáveis e seguras, e correr.

Um equipamento incômodo, desconfortável e desajustado faz com que medidas de segurança sejam negligenciadas. Como exemplo, na travessia de locais perigosos o militar precisa correr de um abrigo para outro, expondo-se o menor tempo possível, e caso a proteção não esteja ajustada ao seu corpo, ela irá balançar, causar a queda de materiais que nela estejam presos e impedir que o militar tenha um desempenho melhor na corrida.

Outro exemplo possível é referente à utilização de abrigos, se o colete não estiver ajustado corretamente o combatente irá procurar uma posição que lhe garanta conforto, mesmo não estando protegido. Ainda nesta situação, caso ele precise tomar posição tiro, não conseguirá fazer uma boa visada nem encaixar o fuzil corretamente no cavado do ombro, comprometendo a proteção de seus companheiros.

Em parte, esse desajuste é decorrente da falta de instruções para os soldados de como adaptar o colete ao corpo. A tabela 5 mostra que dos 49 entrevistados, 65,3% nunca receberam instrução, ou seja, quase dois terços irá apresentar algum desconforto devido à falta de ajuste do equipamento, gerando os incidentes citados nos exemplos.

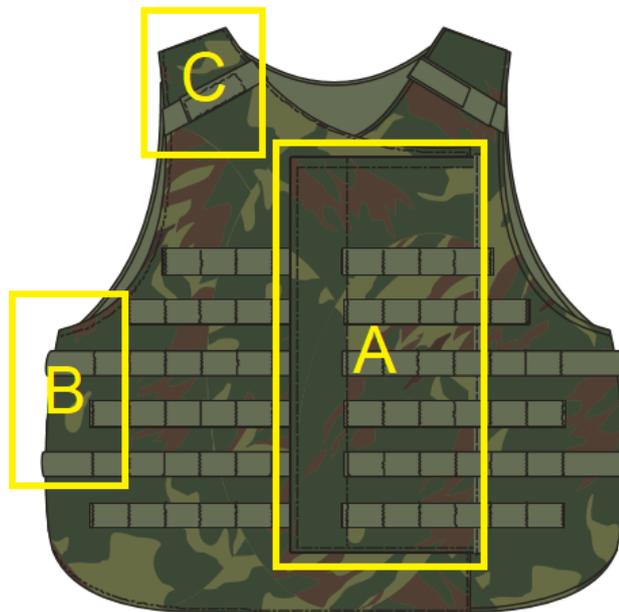
Tabela 5 – Quantitativo de militares que receberam instrução sobre ajustagem do colete balístico

<b>Ajustamento do colete ao corpo</b>	<b>Amostragem</b>	<b>Total</b>	<b>% Amostragem</b>
Sim	10		20,4%
As Vezes	7		14,3%
Não	32		65,3%
<b>TOTAL</b>	<b>49</b>		<b>100%</b>

Fonte: VIEIRA; MOREIRA (2015)

Além da falta de instrução, o modelo de colete utilizado pelo EB apresenta uma ajustagem deficiente, como regulagem lateral limitada e ajustagem superior inexistente. Ele possui um grande número tamanhos (P, M, G, GG e EGG) para suprir essa deficiência, porém, a realidade dos batalhões mostra que não é possível distribuir o tamanho correto para todos os militares, e em consequência, eles ficam com equipamentos impróprios para suas estaturas.

Figura 15 – Regiões do colete balístico que possuem problemas de ajuste e causam perda de mobilidade



Fonte: AUTOR (2020)

A placa balística apresenta tamanho único e, ao ser colocada em coletes menores, como o P, ou utilizada por pessoas mais robustas seu fechamento fica comprometido. O sistema de fechamento é através de um velcro frontal, na região A da figura 15, e quando a placa balística é inserida no bolsão interno, ela causa uma descentralização, ficando mais para o lado direito e com isso o velcro não fecha como deveria. Assim, além do fechamento inadequado, há um posicionamento incorreto da placa balística.

A região B, da figura 15, mostra outra área que influencia na mobilidade do combatente. Esta parte do colete apresenta pequena abertura, ficando muito próxima as axilas e com isso reduzindo a amplitude do movimento dos braços. Já a região C, da mesma figura, não apresenta nenhum ajuste para a altura do colete, além de não possibilitar a correta colocação do fuzil no cavado do ombro.

Após a análise desses defeitos, verifica-se a necessidade de redesenhar o formato desta proteção com um sistema de fechamento mais eficiente e que deixe a placa balística centralizada independente do tipo físico da pessoa que a estiver utilizando e do tamanho do equipamento. Um maior espaçamento das axilas e a colocação de ajustes de altura também são necessários. Por fim, a redução do número de tamanhos e a criação de um sistema mais eficiente de ajuste, fariam com que o problema de distribuição de coletes com tamanhos incompatíveis fossem reduzidos, e assim os militares estariam melhores preparados para as operações.

#### 4.3 ANÁLISES DA PESQUISA REALIZADA

A pesquisa foi realizada com trinta e um militares de diversas Organizações Militares (OMs) do Brasil, para levantar quais os aspectos negativos, o que esses problemas causam e mudanças necessárias para o colete balístico.

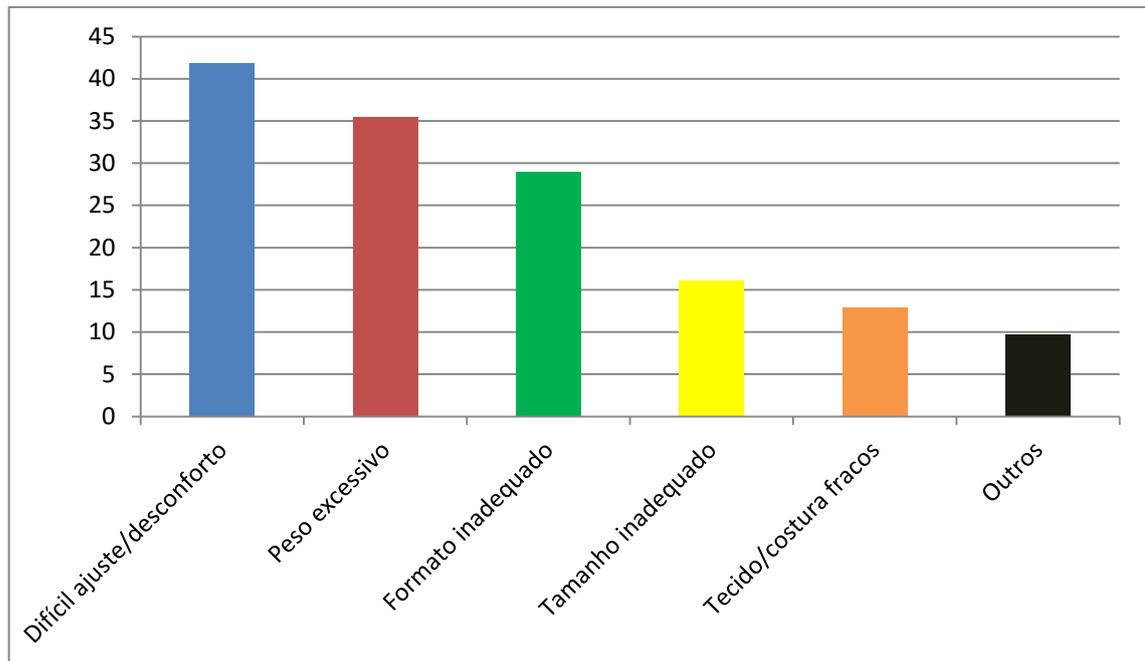
A primeira questão levantada foi: Comente quais os principais defeitos ou problemas apresentados pelo colete balístico utilizado.

Nessa questão, os militares puderam expor mais de um defeito ou problema encontrado ao utiliza-lo, e cerca de 42% dos entrevistados se queixaram da difícil ajustagem e desconforto do colete. A falta de regulagem lateral faz com que a proteção fique frouxa em pessoas mais magras, e apertada demais em pessoas mais robustas. A falta de ajuste na região superior, faz com que ele não fique na altura adequada para proteger os militares com diferentes estaturas.

Aliado a isso, estão as reclamações de tamanhos incompatíveis, aproximadamente 16%, que dizem respeito a falta do tamanho certo de colete para cada indivíduo. Um dos militares da pesquisa afirmou que até hoje só teve contato com o tamanho G, desconhecendo a existência de outros tamanhos. Portanto, a falta de regulagens e incapacidade de distribuição de coletes com tamanhos correspondentes para cada militar gera grande desconforto e perda de operacionalidade.

A segunda maior reclamação, 35,5% das respostas, foi com relação ao peso excessivo, em seguida vieram as reclamações do formato do colete, quase 30%. As queixas sobre o formato são abrangentes e se referem a perda de mobilidade devido ao seu formato, fechamento frontal inadequado, não cobrir corretamente partes vitais, painel balístico flexível solto no interior e região do pescoço apertada.

Gráfico 3 – Problemas encontrados com a utilização do colete balístico



Fonte: AUTOR (2020)

Outro problema mencionado, com 12% das reclamações, foi com relação ao tecido do colete, que é fraco, as costuras se desgastam facilmente e são frágeis. Essa fragilidade e desgaste fácil fazem com que os equipamentos envelheçam e sejam inutilizados rapidamente ou que sejam utilizados em estados deploráveis, com remendos de fita Silver Tape, como já foi visto.

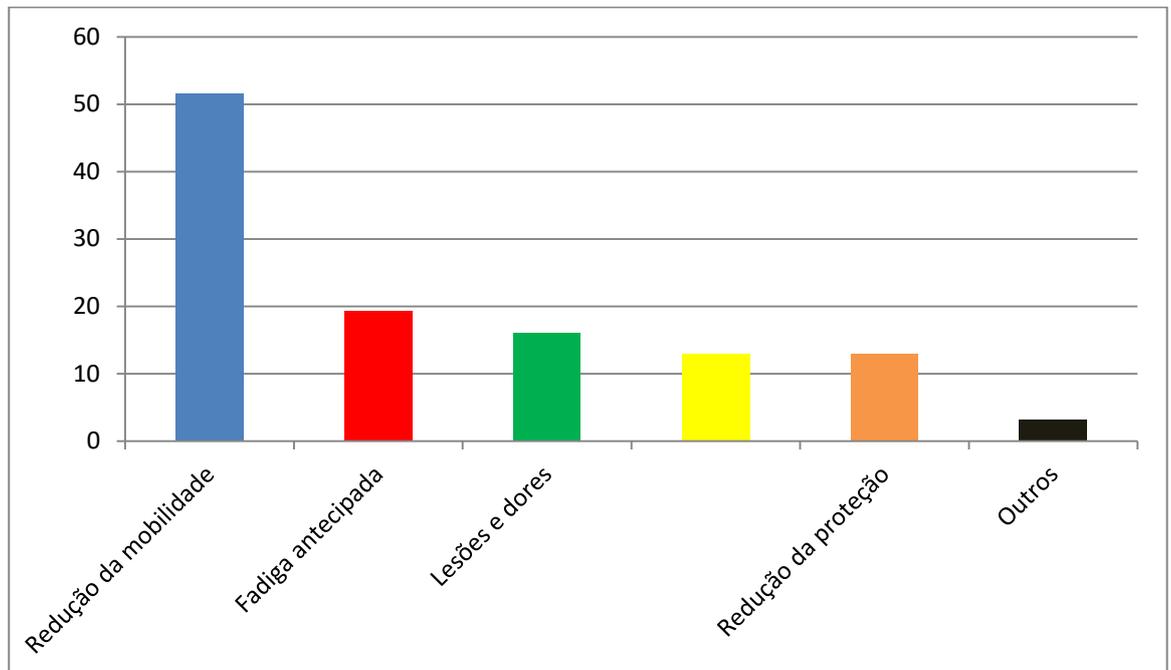
Os 9,6% relativas a outras reclamações são referentes a problemas que foram mencionados apenas uma vez, como a falta de proteção contra munições calibre 5,56mm perforante, o rápido vencimento do Kevlar comparado com outros materiais e a utilização de materiais ultrapassados.

A segunda questão levantada foi a seguinte: O que esses defeitos ou problemas causaram?

O fator resultante dos problemas indicados anteriormente, com quase 52% dos militares apontando para ele, é a perda de mobilidade. Essa perda é citada de várias formas, como dificuldade de tomar a posição de tiro, limitação na movimentação, dificuldade em se abrigar em abrigos pequenos e até médios, expondo o militar em várias situações de risco, dificuldade em embarcar e desembarcar de viaturas (principalmente em veículos civis adaptados),

Um Oficial deu a seguinte resposta: “O tecido fraco, juntamente com o velcro fraco, causa desgaste e indisponibilidade prematura do colete. A OM em que sirvo necessitou comprar velcro e remeter os coletes a uma correaria para recuperar aproximadamente 100 unidades. Os painéis soltos no interior descem com a ação da gravidade, formando uma borda arredondada na parte inferior e diminuindo a proteção balística na área dos ombros. O fechamento frontal dificulta o uso de equipamentos modulares nas correias do colete, bem como sobrepõe dois painéis balísticos desnecessariamente, aumentando o peso do equipamento. Já o desenho do colete limita muito a movimentação, principalmente por aquisição de quantidades desproporcionais dos tamanhos, sendo em sua maioria tamanho G.”

Gráfico 4 – Resultantes dos problemas apresentados



Fonte: AUTOR (2020)

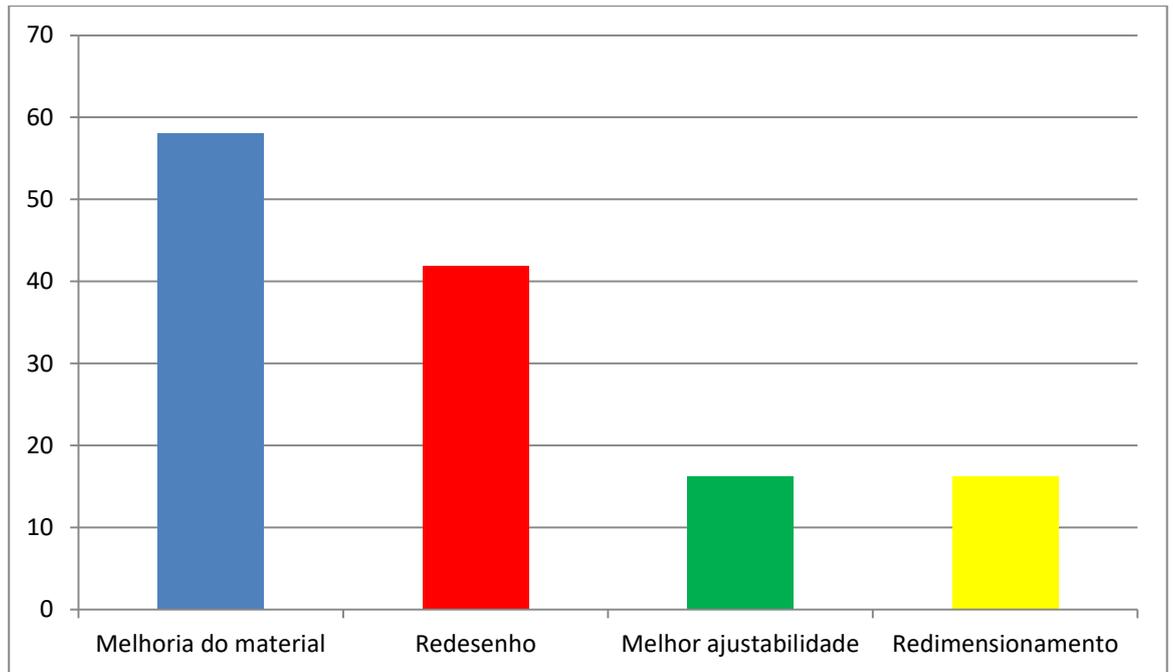
A fadiga antecipada foi a segunda resultante mais citada, com aproximadamente 20%, e logo em seguida vem lesões e dores, com 16% das citações. O desgaste e indisponibilidade prematura do colete e redução da proteção foram referidos em 13% das respostas.

A terceira questão abordada foi: Comente quais as melhorias que o colete balístico poderia ter para aumentar sua eficiência no combate.

Como ponto mais citado temos a melhoria do material, 58,1% dos militares se refeririam, de formas diferentes, a esse aspecto. Alguns abordaram a modernização do tecido,

com substituição do Cordura por outro e melhorar, outros abordaram a melhoria da resistência das costuras e velcros. Também comentaram sobre a modernização dos painéis balísticos flexíveis, para deixá-los mais leves e com menor isolamento térmico, e da placa balística, com a substituição das atuais por placas “Stand Alone”.

Gráfico 5 – Levantamento das necessidades de melhorias



Fonte: AUTOR (2020)

O redesenho esteve em quase 42% dos comentários, sendo motivado pela melhoria da mobilidade, trazer maior conforto, melhor distribuição do peso, possibilitar a tomada de uma posição de tiro, proporcionar maior proteção de regiões vitais, alteração do fechamento frontal ineficiente e criação de um sistema de soltura rápida para remoção do colete em caso de emergência. A utilização de um sistema “Plate Carrier”, que é um modelo de colete balístico que garante leveza, conforto e máxima mobilidade, foi mencionada por alguns militares e é um alternativa interessante.

Aliado ao redesenho vem a melhoria na ajustabilidade, com 16,2%. Esse melhoramento tem a finalidade de capacitar o ajuste do colete a militares de diferentes portes físicos e tamanhos, e reduzir a necessidade de criação de um número tão grande de tamanhos (PP, P, M, G, GG e EGG).

O redimensionamento, 16,2% citaram, está se referindo ao fato de que as medidas base para confecção do colete estão pautadas em medidas norte-americanas, sendo necessário o estudo e reformulação dos tamanhos para os padrões da população brasileiros.

#### 4.4 MELHORAMENTOS POSSÍVEIS

Após serem analisadas todas as características do colete utilizado pelo EB, observam-se diversas melhorias possíveis, tanto no aspecto da efetividade, quanto no aspecto da funcionalidade.

Iniciando pela placa balística, encontramos materiais cerâmicos como o carbeto de boro ( $B_4C$ ). Ele tem altíssima dureza, grande elasticidade e baixa densidade comparado a outras cerâmicas de mesmo uso.

Outro material que poderia substituir a alumina é o carbeto de silício, devido a suas propriedades superiores. Ele apresenta alta dureza e um preço de fabricação menor que o carbeto de boro, tornando-o um excelente substituto.

Partindo para a placa balística flexível, vemos uma diversidade de polímeros e fibras que estão disponíveis no mercado e apresentam resultados excelentes em termos de proteção e conforto. O primeiro exemplo é da Moratex, uma empresa que desenvolveu uma proteção líquida, que quanto mais pressão recebe, mais ela endurece, por se tratar de um fluido não newtoniano. Além disso, esse material apresenta menor densidade e maior flexibilidade que o Kevlar.

O Shear Thinning Fluid (STF) é um composto similar ao criado pela Moratex, também é um fluido não newtoniano que endurece ao receber um impacto. A diferença é que ele é usado de revestimento do Kevlar, através da imersão desta aramida no STF.

Por fim, a capa externa poderia ser constituída de materiais de maior resistência e menor isolamento térmico. A mistura de 57% poliéster e 43% Coolmax<sup>®</sup> gera um material utilizado na face externa, que tem as propriedades de redução da temperatura da pele, secagem rápida e redução da frequência cardíaca durante atividades intensas.

A malha da face interna poderia ser feita de membrana Gore-Tex<sup>®</sup>, constituída de politetrafluoretileno e que garante um tecido respirável. Suas características são excelente porosidade e troca de calor e controle da umidade, tornando a proteção muito mais confortável e evitando problemas causados pelo excesso de calor e suor.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vemos um crescimento exponencial no emprego do EB nos últimos anos, seja em operações em ambiente urbano, seja em missões de pacificação. Todas elas possuem em comum a necessidade de uma proteção individual eficaz e os coletes balísticos fazem esse papel, porém, é preciso uma modernização tanto dos materiais componentes do painel balístico flexível e placa balística, quanto do colete propriamente dito. Não podemos nos acomodar com os materiais que possuímos, mas sim, sempre procurar melhorar e garantir o máximo de segurança e operacionalidade para os militares.

O painel balístico flexível é constituído de aramida Kevlar e, sozinha, garante a proteção nível IIIA. O acréscimo da placa balística, que é constituída de um compósito de cerâmico alumina e polietileno de ultra-alto peso molecular, proporciona proteção nível III. Mesmo sendo materiais largamente empregados ainda, já existem outros mais leves, eficientes e que geram maior conforto para o combatente.

Os problemas com a capa externa influenciam na funcionalidade do colete. Ela necessita de uma modernização em seu material, tanto para deixá-la mais resistente, quanto para possibilitar melhor transpiração e resfriamento do corpo. Além disso, sua configuração e modelo devem ser revistos, pois se perde muita mobilidade com seu uso, possui baixa ajustabilidade tornando necessário grande número de tamanhos e deixa a placa balística descentralizada.

Ao sair para operações, o peso total do colete somado com o peso do material necessário para a missão é de 20Kg, aproximadamente. A utilização por longos períodos de tempo desse equipamento, com o peso concentrado na região do tronco, pode acarretar em dores e lesões aos militares.

Essas dores ocorrem principalmente na região da musculatura do trapézio, pois é o maior ponto de apoio do colete, e na lombar, pois necessita realizar um esforço muito maior para sustentar o peso.

Já as lesões ocorrem em sua maioria nas articulações, porque são pontos mais frágeis. A articulação do joelho pode se lesionar através de impactos, como saltos de viaturas, e torções causadas pelo desequilíbrio com o uso do colete. O tornozelo também sofre com essa desestabilização, e torções ocorrem com frequência.

Assim, observa-se que o colete balístico utilizado pelo EB necessita de mudanças no aspecto efetividade e funcionalidade. A norma que regulamenta ele é de 2009, ou seja, anterior a diversas operações que trouxeram maior experiência em conflitos para o Exército.

Com isso, a modernização desta proteção com base na experiência adquirida e na necessidade de melhorias para operações futuras é essencial.

## REFERÊNCIAS

- AGARWAL, Bhagwan D.; BROUTMAN, Lawrence J.; CHANDRASHEKHARA, K.. **Analysis and performance of fiber composite**. 3. ed. Indiana: John Wiley & Sons, 2015. 576 p.
- AJDELSZTAJN, L.. Comportamento de placas de material compósito submetidas à impactos balísticos. In: CBECIMAT, 13., 1998, São Paulo. **Anais do 13 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. [s.i]: Vi Semel, 1998. p. 831-847.
- ALVES, Andreia L. S.; NASCIMENTO, Lucio F. C.; SUAREZ, João Carlos Miguez. Comportamento Balístico de Compósito de Polietileno de Altíssimo Peso Molecular: Efeito da Radiação Gama. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [s.i], v. 14, n. 2, p. 105-111, 2004.
- AMORIM JUNIOR, Wanderley Ferreira et al. Comportamento sob impacto balístico de um sistema compósito para blindagem. **Revista Eletrônica de Materiais e Processo**, Campina Grande, v. 1, p. 12-18, 02 jun. 2006. Disponível em: [www.dema.ufcg.edu.br/revista](http://www.dema.ufcg.edu.br/revista). Acesso em: 21 jul. 2019.
- BERNARDI, Stefania Tesi. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida Kevlar**. 2003. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Porto Alegre, 2003.
- CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião V.. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2010. 106 p.
- EXÉRCITO BRASILEIRO. **Norma Do Exército Brasileiro: Colete De Proteção Balística Nível III - Operacional**. Brasília: Exército Brasileiro, 2009. 31 p.
- FARIAS, Juliana X. N. de; SANSON, Francine K.; CALUMBY, Ricardo B. R.. Polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM): Propriedades, processamento e aplicações. In: COMGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9., 2007, Campina Grande. **Anais do 9o Congresso Brasileiro de Polímeros**. [s.i]: Abpol, 2007. v. 17, p. 1-10.
- FERNANDES, Viviane Kettermann; MARTENDAL, Caroline Pereira. **Kevlar – o polímero mais resistente do que aço**, 2015. Disponível em: <http://engenheirodemateriais.com.br/2015/07/14/kevlar-o-polimero-mais-resistente-do-que-aco/>. Acesso em: 12 de jan. 2020.
- FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Polímero Kevlar: mais forte que o aço**. 2011. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/polimero-kevlar-mais-forte-que-aco.htm>. Acesso em: 17 jul. 2019.
- FREITAS, Ana Clara Ramos de. **Redesign - Colete balístico nível III para o Exército Brasileiro**. 2016. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Desenho Industrial, Departamento de Desenho Industrial, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. (FREITAS, 2016)

GALANTE, Alexandre; POGGIO, Guilherme. **Tropa treina GLO em defesa de ponto sensível**. 2018. Disponível em: <https://www.forte.jor.br/2018/05/21/tropa-treina-glo-em-defesa-de-ponto-sensivel/>. Acesso em: 31 maio 2020.

MARINS, Eleasar Martins. **OTIMIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE CERÂMICAS DE CARBETO DE SILÍCIO OBTIDAS COM MATERIAL NACIONAL PARA USO EM BLINDAGEM BALÍSTICA**. 2008. 102 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Garatinguetá, 2008.

GONÇALVES, D. P.; MELO, F. C. Lourenço. Blindagem para aeronaves. In: ETQM, 1999, Rio de Janeiro. **Anais do Encontro técnico de Materiais e Química**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa da Marinha, 1999. p. 274-291.

INOVA GLASS (Suzano) (ed.). **Tabela Balística**. [201-]. Disponível em: <https://www.inovaglass.com.br/certificados/tabela-balistica/>. Acesso em: 08 jun. 2020.

LEE, K. C.; TAI, H. C.; CHEN, H. C.. Comfortability of the Bulletproof Vest: Quantitative Analysis by Heart Rate Variability. **Fibres & Textiles**, Taiwan, v. 16, n. 6, p. 39-43, dez. 2008.

LUZINOV, Igor; KOMEV, Konstantin G.. **SELF-COOLING GRADIENT SHELL FOR BODY ARMOR**. Clemson: Air Force Research Laboratory Materials And Manufacturing Directorate, 2012. 22 p.

MAJCHRZYCKA, Katarzyna; BROCHOCKA, Agnieszka; ŁUCZAK, Anna; ŁęŚAK, Krzysztof. Ergonomics Assessment of Composite Ballistic Inserts for Bullet- and Fragment-Proof Vests. **International Journal Of Occupational Safety And Ergonomics**, [s.l.], v. 19, n. 3, p. 387-396, jan. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2013.11076995>.

MATHIAS, LON J. **Aramid**. 2015. Disponível em: <https://pslc.ws/portug/aramid.htm>. Acesso em: 31 maio 2020.

MENDONÇA, Paulo de Tarso R.. **Materiais Compostos & Estrutura-Sanduiche**: projeto e análise. Barueri: Manole, 2005. 630 p.

PARK, Huiju et al. Impact of ballistic body armour and load carriage on walking patterns and perceived comfort. **Ergonomics**, [s.l.], v. 56, n. 7, p. 1167-1179, jul. 2013. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00140139.2013.791377>.

POLLA, M. B. et al. Desempenho balístico de estruturas multicamadas à base de alumina/epóxi. **Cerâmica**, [s.l.], v. 65, n. 374, p. 207-215, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653742457>.

SANTOS, Jayna Kátia Dionisio dos. **RESISTÊNCIA RESIDUAL APÓS IMPACTO EM COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE MATRIZ ESTÉR VINÍLICA REFORÇADA POR FIBRA DE VIDRO E KEVLAR**. 2018. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

SILVA, M. V. da et al. Blindagens cerâmicas para aplicações balísticas: uma revisão. **Cerâmica**, [s.i], v. 60, p. 323-331, jun. 2014.

SILVINO JUNIOR, João Bosco. **A modinha dos plate carriers**: estudo de caso. 6 mar. 2020. Instagram: @professorjoaobosto. Disponível em: [www.instagram.com/p/B9akkDDij4jg/?igshid=d3qw17hxdpwn](https://www.instagram.com/p/B9akkDDij4jg/?igshid=d3qw17hxdpwn). Acesso em: 31 maio 2020.

TORRES, M. F. de C.. **Simulação do desempenho balístico de blindagem mista cerâmica/compósito**. 2005. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

U.S DEPARTMENT OF JUSTICE- NATIONAL INSTITUTE OF JUSTICE. **NIJ STANDARD– 0101.04**: Ballistic Resistance of Personal Body Armor. Washington: National Institute Of Justice Office Of Science And Technology, 2000. 67 p.

VIEIRA, Geovani Ademir de Almeida; MOREIRA, Lucas Tiago. **CONHECIMENTO DOS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PELOS MILITARES E SUA INFLUÊNCIA NAS OPERAÇÕES DE APOIO AOS ÓRGÃOS GOVERNAMENTAIS (AOG)**. Rio de Janeiro: Exército Brasileiro, 2015. 24 p.

WILKINS, M. L.. Mechanics of Penetration and Perforation. **International Journal Engineering Science**, [s.i], v. 16, p. 793-807, 1978.

ZWOLIŃSKA, Magdalena et al. Bulletproof Vest Thermal Insulation Properties vs. User Thermal Comfort. **Fibres & Textiles**, Warsaw, v. 21, n. 5, p. 105-111, dez. 2013.