



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO  
DEPARTAMENTO DE PATOLOGIA E MEDICINA LEGAL



JOÃO DA CUNHA NETO

**Performance em balística terminal de munições de uso policial:  
análise baseada no Protocolo do FBI**

**Ribeirão Preto**

**2024**



JOÃO DA CUNHA NETO

**Performance em balística terminal de munições de uso policial:  
análise baseada no Protocolo do FBI**

**Versão corrigida**

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como requisito à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Patologia

Opção: Patologia Experimental

Orientador: Prof.Dr. João Paulo Mardegan  
Issa

Ribeirão Preto

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Cunha Neto, João da

Performance em balística terminal de munições de uso policial: análise baseada no Protocolo do FBI, 2024.

146 p. : il. ; 30 cm

Dissertação de Mestrado, apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Patologia.

Orientador: Issa, João Paulo Mardegan.

Versão original

1. Balística Forense. 2. Arma de fogo. 3. Ferimentos penetrantes. 4. Ferimentos por arma de fogo.

Nome: CUNHA NETO, João da.

Título: Performance em balística terminal de munições de uso policial: análise baseada no Protocolo do FBI.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Patologia Experimental da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Médicas.

Aprovado em: 15/03/2024.

#### Banca Examinadora

Prof. Dr: João Paulo Mardegan Issa

Instituição: FORP/USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr: Cláudio do Prado Amaral

Instituição: FDRP/USP

Julgamento: Aprovado

Prof. Dr: Sebastião Sérgio da Silveira

Instituição: FDRP/USP

Julgamento: Aprovado



*Dedico esse trabalho aos operadores de segurança pública do Brasil, policiais civis, militares, federais, rodoviários, penais, científicos, legislativos, judiciais e guardas municipais, que, mesmo diante de condições materiais de trabalho adversas, cumprem a missão de servir como a última barreira entre a sociedade e a barbárie.*





## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À **minha família**, pelo apoio incondicional em todas as etapas de minha carreira profissional e acadêmica.

Ao orientador, **Prof. Dr. João Paulo Mardegan Issa**, por ter acreditado nesse projeto de pesquisa desde seu início e prestado toda a orientação necessária à sua conceção.

Ao amigo **Ms. Lucas Meciano Pereira dos Santos** por todo o suporte logístico durante a realização dos ensaios, sem o qual esse trabalho jamais teria saído do papel, além da imprescindível ajuda na pesquisa bibliográfica, tabulação dos resultados, revisão do texto e tudo o mais em que prestou apoio nessa jornada.

Ao **Departamento de Biologia Básica e Oral da FORP-USP**, em especial ao amigo **Dimitrius Leonardo Pitol**, pelo auxílio durante o uso do laboratório para coleta dos dados utilizados na pesquisa.

À **Polícia Penal do Estado de São Paulo, em especial aos amigos Marco Antonio de Moraes e Marcelo Pedro Antônio**, pela disponibilização do estande de tiro do CDP-Pontal, indispensável à parte prática da pesquisa.

À **Camila de Luca Zambonini Gimenes**, pelo eficiente e prestativo apoio nas questões administrativas durante a realização do mestrado.

À empresa **Pilkington Brasil**, que forneceu a título gratuito os vidros automotivos empregados na última etapa de ensaios.

À **Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP)**, pela oportunidade única de cursar o mestrado acadêmico nessa aclamada instituição de ensino.

Ao **Departamento de Patologia e Medicina Legal da FMRP-USP**, pelo pioneirismo na realização de pesquisas acadêmicas no campo da Balística, ainda praticamente inexplorado no Brasil.



## RESUMO

CUNHA NETO, J. **Performance em balística terminal de munições de uso policial: análise baseada no Protocolo do FBI.** 2024. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto/SP, 2024.

No campo da balística terminal se encontram os estudos destinados a aumentar a eficiência na capacidade de incapacitação dos projéteis destinados ao uso profissional das Instituições de Segurança Pública, que dependem do uso de armas de fogo para a salvaguarda de seus operadores. O padrão mais aceito mundialmente para os testes de munições destinadas ao uso operacional pelas agências responsáveis pela aplicação da Lei (*law enforcement agencies*) é o Protocolo do FBI, desenvolvido pela Instituição no final dos anos 1980. No Brasil, há uma lacuna de estudos que possam atestar, de maneira independente, a veracidade dos resultados divulgados pela indústria quanto ao comportamento terminal das munições nacionais destinadas ao trabalho policial. Partindo-se dessa premissa, o estudo avaliou o comportamento balístico-terminal de diferentes tipos de projéteis dos seguintes calibres de baixa velocidade: .38 SPL, .380 ACP, 9 x 19 mm, .40 S&W e .45 ACP. Os ensaios foram baseados no Protocolo do FBI, incluindo barreiras leves e pesadas, e gelatina balística calibrada a 10% como simulante de tecidos moles. Observou-se uma tendência de penetração acima do patamar máximo de 18" estabelecido pelo FBI para os projéteis ogivais ou de ponta plana. Os cartuchos de ponta oca apresentaram maior variação de comportamento terminal, com resultados dependentes da construção do projétil e sua massa, com tendência de performance superior dos projéteis mais pesados. No calibre 9 x 19 mm, o mais empregado pelas forças de segurança, a munição nacional com melhor resultado diante dos parâmetros estabelecidos foi a CBC Bonded de 147 gr.

Palavras-Chave: Balística forense. Arma de fogo. Medicina legal. Ferimentos penetrantes. Ferimentos por arma de fogo.



## ABSTRACT

CUNHA NETO, J. **Terminal ballistics performance of duty ammunition: FBI Protocol based analysis.** 2024. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto/SP, 2024.

In the field of terminal ballistics are situated the studies aimed at improving the incapacitation capability of projectiles intended for professional use by public safety institutions, which depend on the use of firearms to safeguard their operators. The most worldwide accepted standard of ammunition testing, intended for law enforcement agencies, is the FBI Protocol, developed by the institution in the late 1980s. In Brazil, there is a lack of studies that can independently attest the veracity of the results published by the industry regarding the terminal behavior of Brazilian-made duty ammunition. Based on these premises, this research evaluated the performance of different types of projectiles of the following low-velocity calibers: .38 SPL, .380 ACP, 9 x 19 mm, .40 S&W and .45 ACP. The tests were based on the FBI Protocol, including soft and hard barriers, and used ballistic gelatin at 10% as a soft tissue simulant. It was observed a trend of penetration above the limit of 18" established by the FBI for FMJ or FMJ-FN projectiles. Hollow-point cartridges showed greater variation in terminal behavior, with results depending on the construction of the projectile and its mass, with a tendency for heavier projectiles to perform better. In 9 x 19 mm caliber, the most used by law enforcement agencies, the best performing brazilian ammunition was the CBC Bonded, 147 gr.

Keywords: Forensic Ballistics. Firearms. Forensic medicine. Penetrating wounds. Gunshot wounds.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>+P</b>	Munição com sobrepressão em relação ao padrão
<b>ACP</b>	Automatic Colt Pistol
<b>BATF</b>	Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms
<b>CBC</b>	Companhia Brasileira de Cartuchos
<b>DOJ</b>	Department of Justice
<b>ETOG</b>	Encamisado Total Ogival
<b>ETPP</b>	Encamisado Total Ponta Plana
<b>EXPO</b>	Expansivo Ponta Oca
<b>FBI</b>	Federal Bureau of Investigation
<b>FMJ</b>	Full Metal Jacket (equivalente a ETOG)
<b>FMJ-FN</b>	Full Metal Jacket- Flat Nose (equivalente a ETPP)
<b>FPS</b>	feet per second (equivalente a 0,3048 m/s)
<b>GR</b>	grain (equivalente a 0,00648 g)
<b>IWBA</b>	International Wound Ballistics Association
<b>J</b>	Joule
<b>JHP</b>	Jackted Hollow Point (jaquetado ponta oca)
<b>NIJ</b>	National Institute of Justice
<b>PAF</b>	Projétil de arma de fogo
<b>PMHS</b>	Post-mortem human subject
<b>RII</b>	Relative Incapacitation Index
<b>S&amp;W</b>	Smith & Wesson
<b>SAAMI</b>	Sporting Arms and Ammunition Manufacturers' Institute
<b>SCHP</b>	Solid Copper Hollow Point
<b>SPL</b>	Special





## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	23
2.1 DAS ARMAS DE FOGO.....	23
2.2 DO USO DE GELATINA COMO SIMULANTE BALÍSTICO.....	26
2.3 DO MECANISMO DE CAUSAÇÃO DE FERIMENTOS DE PROJÉTEIS DE ARMAS DE FOGO.....	33
2.4 O FENÔMENO DA INCAPACITAÇÃO DE UMA AMEAÇA COM EMPREGO DE ARMA DE FOGO.....	41
<b>3 JUSTIFICATIVA</b> .....	45
<b>4 OBJETIVOS</b> .....	47
4.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS.....	47
4.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS.....	47
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	49
5.1 APROVAÇÃO DO PROJETO PELOS COMITÊS DE ÉTICA EM PESQUISA.....	49
5.2 RECURSOS.....	49
5.3 GELATINA BALÍSTICA.....	49
5.4 ARMAMENTO E MUNIÇÃO.....	51
5.4.1 <b>Da escolha dos calibres e munições para o estudo</b> .....	55
5.5 PROTOCOLO DE ENSAIOS E BARREIRAS INTERMEDIÁRIAS.....	57
5.6 CÁLCULO DA PONTUAÇÃO.....	61
5.7 MÉTODOS.....	65
5.7.1 <b>Local dos ensaios</b> .....	65
5.7.2 <b>Configuração experimental</b> .....	66
<b>6 RESULTADOS</b> .....	75
6.1 MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DE BOCA DE CANO, CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA E QUANTIDADE DE MOVIMENTO.....	75
6.2 RESULTADOS DO ENSAIO COM GELATINA NUA.....	79
6.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE TECIDO PESADO.....	83
6.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE MADEIRA.....	85
6.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE METAL.....	88

6.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE VIDRO AUTOMOTIVO.....	91
6.7 RESULTADOS GERAIS DE CADA TIPO DE MUNIÇÃO.....	95
6.7.1 Calibre .38 SPL, Gold Hex.....	95
6.7.2 Calibre .380 ACP, ETOG.....	96
6.7.3 Calibre .380 ACP, Gold Hex.....	97
6.7.4 Calibre 9 x 19 mm, ETOG.....	98
6.7.5 Calibre 9 x 19 mm, Gold Hex 115 gr.....	99
6.7.6 Calibre 9 x 19 mm, Copper Bullet Tactical.....	100
6.7.7 Calibre 9 x 19 mm, Bonded 147 gr.....	101
6.7.8 Calibre 9 x 19 mm, HST 147 gr.....	102
6.7.9 Calibre .40 S&W, ETPP.....	104
6.7.10 Calibre .40 S&W, Gold Hex.....	105
6.7.11 Calibre .40 S&W, Copper Bullet Tactical.....	105
6.7.12 Calibre .45 ACP, ETOG.....	106
6.7.13 Calibre .45 ACP, Gold Hex.....	107
6.7.14 Calibre .45 ACP, Copper Bullet Tactical.....	107
6.8 ANÁLISES GRÁFICAS DOS RESULTADOS.....	109
6.9 CÁLCULO DA NOTA FINAL DAS MUNIÇÕES CALIBRE 9 x 19 mm.....	112
6.10 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	115
6.11 CONFLITOS DE INTERESSE.....	116
<b>7 DISCUSSÃO.....</b>	<b>117</b>
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da pólvora, por volta do século IX, as armas de fogo empregam basicamente o mesmo princípio de funcionamento: lançar projéteis através de um cano empregando a força expansiva dos gases oriundos da queima de um propelente. Por mais de mil anos, essas máquinas térmicas se desenvolveram para se tornarem mais confiáveis, precisas e capazes de um maior volume de fogo, mas ainda utilizando a mesma ideia concebida pelos chineses na Idade Média.

A **Balística** é entendida como a ciência responsável pelo integral entendimento das armas de fogo, munições e seus efeitos. Originada da palavra grega *ballein*, outrora era definida como o campo de estudo destinado à compreensão dos fenômenos relacionados ao lançamento de projéteis (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016). Na atualidade, a balística se traduz como uma seara vasta do conhecimento científico acerca das armas de fogo e demais temas correlatos.

No preciso conceito de Albarracin (1971, apud TOCCHETTO, 2021, p. 32): “Balística é a ciência e arte que estuda integralmente as armas de fogo, o alcance e a direção dos projeteis por elas expelidos e os efeitos que produzem”. Nesse diapasão, para sistematização da matéria e pela magnitude do campo do conhecimento, usualmente a balística é subdividida em cinco segmentos principais: interna, intermediária, externa, terminal e forense.

A **Balística Interna ou Interior** tem por objeto de estudo as forças físicas que atuam sobre o projétil durante seu percurso pelo interior do cano. Ademais, a balística interna ainda apresenta uma competência residual, abrangendo os tópicos não tratados expressamente pelos outros ramos (MARIZ, 2022). Assim, podem ser analisadas as classificações, divisões em espécies, acabamentos, ações, tipos de percussão, sistemas de funcionamento, calibres reais e nominais etc.

A **Balística Intermediária ou de Transição**, de existência autônoma discutível na doutrina, se debruça sobre os fenômenos que atuam sobre a ogiva logo após a saída do cano, em seus primeiros centímetros (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016), isto é, enquanto o projétil ainda está sob os efeitos dos gases oriundos da queima do propelente.

A **Balística Externa ou Exterior** se ocupa do estudo do voo do projétil, desde

o momento em que a ogiva deixa de sofrer as influências dos gases na saída do cano até seu primeiro impacto, sendo responsável pela análise das variações oriundas em razão da força gravitacional, densidade do ar, vento, distância e demais condicionantes físicas do deslocamento pelo ar (SOUZA, 2022).

A **Balística Terminal** tem por objeto de estudo as interações dos projéteis com o alvo (FACKLER, 1998). No ramo da balística terminal se concentram os estudos sobre os ferimentos causados por armas de fogo, incluindo os tópicos próprios da Medicina Legal, bem como o entendimento sobre os fenômenos lesivos às estruturas biológicas causadas pelos projéteis, como as cavidades temporária e permanente (CUNHA NETO, 2022).

A **Balística Forense**, parte da Criminalística, foca no estudo de armas e munições num contexto de investigação criminal, de modo a auxiliar no deslinde do caso através de uma miríade de exames possíveis, como microcomparações balísticas das marcas de raiamento dos projéteis ou de percussão nas espoletas e revelações de impressões latentes (TOCCHETTO, 2021)

Na seara específica da moderna balística terminal, isso é, no tocante aos efeitos lesivos causados pelos projéteis, não há na atualidade um protocolo de testes nacional apto a classificar as munições conforme sua performance para fins de emprego na segurança pública. A imensa maioria das instituições realiza seus procedimentos de aquisição sem qualquer base teórica ou de avaliação da conformidade, frequentemente embasando-se unicamente no material de propaganda do fabricante.

Nos EUA, o padrão mais aceito de testes balísticos de cartuchos destinados ao uso policial ou de defesa pessoal é o denominado "Protocolo do FBI". O Protocolo é composto por uma série de ensaios realizados em gelatina balística como meio simulante de tecidos moles. O estabelecimento de parâmetros de desempenho por medições de penetração, expansão e retenção de massa permitiu a padronização dos testes dos calibres de armas curtas, bem como a comparação de resultados obtidos por diversas instituições.

No decorrer do Protocolo são analisados fatores como a penetração e expansão do projétil, bem como sua capacidade de ultrapassar barreiras intermediárias, como roupas pesadas e vidro automotivo, de modo a simular fatores

possivelmente presentes num confronto armado real. Atualmente, o Protocolo é amplamente empregado por diversas instituições policiais ao redor do mundo, que escolhem sua munição de dotação (*duty ammunition*) com base nos resultados alcançados nestes testes.

Pode-se afirmar que, até o presente momento, os únicos resultados disponíveis das munições nacionais nos testes do Protocolo do FBI são aqueles arrolados pelo próprio fabricante, a Companhia Brasileira de Cartuchos® (CBC), situada em Ribeirão Pires/SP, conhecida pela marca Magtech™ em outros países.

Há uma evidente escassez de dados independentes e sem o conflito de interesses inerente dos testes realizados pela indústria com seu próprio produto. Segundo a CBC, suas linhas *premium*, como a Gold Hex, Bonded ou Copper Bullet Tactical, apresentam “excelente desempenho quando submetidas ao Protocolo do FBI”, como se demonstra na imagem abaixo, retirada do sítio eletrônico da empresa.

Figura 1 - Parte integrante do Informativo 56 da CBC.

As munições **Copper Bullet Tactical CBC** têm excelente desempenho quando submetidas ao Protocolo do FBI (Federal Bureau of Investigation) dos EUA, com suas rígidas especificações de eficiência balística contra alvos vestidos com roupas de inverno ou posicionados atrás de portas de madeira, gesso, vidro de parabrisas e até chapas duplas de aço (simulando porta de veículo).

As mais renomadas instituições policiais no mundo estão desenvolvendo protocolos próprios, que somente podem ser atendidos com munições com características da **Copper Bullet Tactical**.

Fonte: <cbc.com.br> Acesso em 27/05/2020.

Contudo, há indícios de que algumas das munições da CBC não atendem aos parâmetros do Protocolo. Como exemplo, podem-se citar os testes feitos pelo site “Lucky Gunner” (BAKER, 2015), que embora não abranjam todas as especificações estabelecidas pelo FBI, demonstram que os projéteis apresentam evidente falha de expansão e hiperpenetração, conforme o resultado obtido após cinco disparos:

Figura 2 - Teste realizado em *Clear ballistics*™, coberta com camadas de tecidos pesados, com munição CBC Bonded de 124 gr, calibre 9 x 19 mm.



Fonte: < <https://www.luckygunner.com/labs/self-defense-ammo-ballistic-tests/>>. Acesso em 27/05/2020

Em face dos poucos dados disponíveis, faz-se necessária a realização de estudo científico e imparcial acerca do real comportamento balístico das munições nacionais destinadas ao emprego em atividades de segurança pública.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DAS ARMAS DE FOGO

Sob a ótica legal, uma arma de fogo é assim definida no Brasil:

**Arma de fogo:** arma que arremessa projéteis empregando a força expansiva dos gases, gerados pela combustão de um propelente confinado em uma câmara, normalmente solidária a um cano, que tem a função de dar continuidade à combustão do propelente, além de direção e estabilidade ao projétil (BRASIL, 2019)

Percebe-se que, para a configuração do que se entende por arma de fogo, um dos fatores primordiais é o emprego da força da expansão dos gases de um propelente (pólvora) para o lançamento de projéteis. Essa é a circunstância que distingue, por exemplo, uma arma de fogo de uma arma de ar comprimido<sup>1</sup>.

A origem da pólvora é debatida entre a doutrina, mas se reputa que tenha surgido, provavelmente, por volta do século IX, na atual China (MASSARO, 2015; Penn-Barwell; Helliker, 2017). A mistura descoberta na época, empregada por cerca de 1000 anos, era composta por três componentes básicos: enxofre, salitre (nitrato de potássio) e carvão (CUNHA NETO, 2022; DiMAIO, 2016; KNEUBUEHL, 2008). Na Europa, as primeiras descrições da pólvora são creditadas ao filósofo Roger Bacon, por volta de 1260, enquanto que a fórmula definitiva é descrita pelo monge alemão Berthold Schwartz, já no Século XIV (BARLETT, 2003).

Por séculos, desde as primitivas armas de fogo usadas em combate na Europa, por volta do Século XII (OLIVEIRA, 2021), esses dispositivos eram carregados pela boca, isto é, eram denominadas armas de antecarga. O combatente deveria inserir a carga de pólvora, forçar o projétil da boca até a base do cano com sua bucha e prover a faísca inicial para a queima do propelente, seja por meio de mecha (*matchlock*), roda (*wheellock*) ou pederneira (*flintlock*), como destacado por Mariz (2022).

---

<sup>1</sup> Comumente chamadas de “armas de chumbinho”.

No começo do Século XIX, devido essencialmente aos trabalhos de Frederick Forsyth, Edward Charles Howard e Joshua Shaw, descobriu-se a possibilidade do uso de fulminato de mercúrio para iniciar a deflagração da pólvora, um componente que explodia com o impacto, permitindo o aparecimento das primeiras espoletas, pequenos recipientes de cobre com certa quantidade do composto químico (CUNHA NETO, 2022).

Ainda no século XIX, a pólvora negra, que se mantinha inalterada desde sua invenção na Idade Média, passou a ser substituída pela chamada pólvora sem fumaça (*smokeless powder*), composta essencialmente por nitrocelulose e cuja sintetização, de forma acidental, é atribuída ao químico alemão Schönbein (RHEE et al, 2016) e estabilização da produção por Vieille (DIMAIO, 2016; OLIVEIRA, 2021; SANTOS; ISSA, 2023b).

À época, vários inventores em diferentes partes da Europa criaram soluções para o desenvolvimento de um cartucho independente que tivesse todos os componentes necessários à produção do tiro, como Dreyse (na Alemanha) e Pauli, Lefauchaux e Flobert (na França). Com o avanço inexorável da tecnologia, por volta de meados do Século XIX as armas passaram a ser carregadas pela culatra (retrocarga) através de um cartucho metálico (CUNHA NETO, 2022).

De forma simplificada, pode-se dizer que, virtualmente, todas as armas de fogo modernas<sup>2</sup> empregam o cartucho metálico, compreendido por quatro partes principais: o projétil, que será de fato lançado pelo cano e causará os efeitos terminais; o propelente, que deflagrará gerando as altas pressões necessárias para acelerar o projétil pelo cano; a espoleta, explosivo responsável pela ignição inicial do propelente (após ser atingida pelo percussor) e o estojo, componente de ligação inerte que reúne os demais elementos.

Por evidente, as armas de fogo podem ser classificadas segundo uma miríade de critérios, ao que nos ateremos a dois principais, por sua importância para o entendimento da presente pesquisa.

Quanto à alma<sup>3</sup> do cano, as armas de fogo podem ser: raiadas, quando possuem sulcos helicoidais (raimento), destinados a conferir estabilidade giroscópica

---

<sup>2</sup> À exceção das espingardas, que usualmente empregam cartuchos plásticos.

<sup>3</sup> Interior do cano.



ao projétil, ampliando sua precisão e alcance, ou lisas, quando o cano não possui qualquer raiamento, sendo um mero cilindro de aço. A maioria das armas da atualidade são raiadas, como revólveres, carabinas, pistolas, fuzis e metralhadoras. As armas de alma lisa são representadas essencialmente pelas espingardas, ainda amplamente utilizadas em todo o mundo para o esporte, caça, defesa pessoal e uso policial (CUNHA NETO, 2022; TOCCHETTO, 2021).

Quanto à portabilidade, excetuando-se de pronto as armas de emprego tipicamente militares (como fixas e semiportáteis), as armas de fogo se dividem em portáteis, armas longas que devem ser transportadas com o emprego de uma bandoleira, ou de porte, armas menores que podem ser levadas junto ao corpo com o auxílio de um coldre. Como exemplos de armas portáteis temos as espingardas, carabinas, metralhadoras, fuzis, etc. Já os representantes usuais das armas de porte são as pistolas e os revólveres (MARIZ, 2022).

Para o presente trabalho de pesquisa serão empregadas apenas armas de porte (curtas), revólveres e pistolas. Ambas os tipos possuem o cano raiado e geralmente utilizam canos curtos, de 2" a 5". Nada obstante, o revólver possui um tambor rotativo que apresenta um novo cartucho a cada vez que o cão é armado, sendo considerada uma arma de repetição. Já as pistolas são usualmente semiautomáticas, executando sua ciclagem de maneira independente com o auxílio da força dos gases do propelente, exigindo apenas um novo acionamento do gatilho para o disparo subsequente (TOCCHETTO, 2021).

As pistolas semiautomáticas, com capacidade de munições bastante superior aos revólveres, geralmente com carregadores que comportam 15 ou mais munições nos modelos destinados ao uso operacional, são prevalentes no trabalho policial no Brasil e em todo o mundo. Os revólveres, por sua baixa capacidade de cartuchos (geralmente cinco ou seis) são cada vez mais raros no contexto da segurança pública. Nesse sentido, DiMaio (2016) corrobora que os revólveres foram prevalentes nos EUA até os anos 1970, passando a perder espaço desde então para as pistolas semiautomáticas, denominadas por ele de *autoloaders*.

## 2.2 DO USO DE GELATINA COMO SIMULANTE BALÍSTICO

A presente pesquisa se insere na temática da balística terminal, entendida nesse particular como o estudo do projétil durante a penetração do alvo (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016), especificamente na gelatina balística calibrada a 10%, escolhida como meio simulador para a realização dos ensaios.

Principalmente a partir do final do século XIX e início do século XX, a balística terminal se debruçou na compreensão dos mecanismos de incapacitação e no desenvolvimento de projéteis mais eficientes, para defesa pessoal ou caça (FACKLER, 1995). Um dos maiores problemas enfrentados pelos pioneiros dessa área do conhecimento foi justamente a falta de um meio padronizado para os testes das munições, o que conferia certo grau de empirismo e baixa confiabilidade dos resultados alcançados.

Desde Thompson e LaGarde, por volta de 1904, foram empregados cadáveres humanos e diversos animais vivos para os ensaios balísticos, como cavalos, cachorros, porcos e cabras (SILVA, 1991; SILVINO JUNIOR, 2021). Os controversos “estudos de Strasbourg” (reputados como fraude por Fackler, 1994a, pela inconsistência dos dados apresentados) supostamente adotaram mais de 600 cabras alpinas como meio de testes balísticos (LEANDRO, 2016) por, teoricamente, possuírem a cavidade torácica similar ao ser humano.

Numa análise mais detida, parece claro que seres vivos são diversos entre si, ainda que da mesma espécie, apresentando variações significativas de massa corpórea, densidade óssea, percentual de gordura e estrutura bioquímica, tornando os resultados obtidos por diferentes pesquisadores e em ocasiões distintas de difícil, ou mesmo impossível, comparação.

Em outro viés, a análise de dados de confrontos armados reais de diversos departamentos de polícia dos EUA, tal qual realizado por Marshall e Sanow (1992), é passível de uma série de críticas do ponto de vista metodológico. Há na literatura alegações de que as conclusões desse estudo tinham intenções mercadológicas, de modo a alavancar vendas de projéteis mais leves e velozes (MACPHERSON, 1997a), com mais “poder de parada”, sem preocupação científica com a análise dos dados disponíveis. Muitos reputam que a base de dados utilizada pelos autores é falsa, tendo

em vista a existência de discrepância matemática entre os números apresentados, como oito casos em que a munições obtiveram índices de incapacitação superior a 100% (FACKLER, 1999c; VAN MAANEN, 1999).

A crescente preocupação com a ética na pesquisa e na produção de conhecimento científico levou à necessidade de criação de um meio de simulação do comportamento dos projéteis em meio biológico. Ademais, as diferenças biomecânicas entre os cadáveres e pessoas vivas, como a densidade e resistência dos tecidos e órgãos, as alterações decorrentes do embalsamamento e outros fatores (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016) demonstraram que os ensaios balísticos com emprego de PMHS (*post mortem human specimens*) deveriam ser reavaliados.

A utilização de gelatina de base suína como um simulante de tecidos biológicos para fins de testes balísticos data de muitos anos, com referências mais concretas já na década de 1940 (HARVEY, 1948) e 1960 (NICHOLAS; WELCH, 2004; SWAIN et al., 2014). Tanto a gelatina quanto os tecidos moles são compostos em grande parte por água e podem ser entendidos como semilíquidos viscoelásticos (HAAG, 1989), sendo a densidade próxima à da água um dos fatores essenciais para um meio simulante (MACHPHERSON, 1997a).

Vale notar, contudo, desde Kocher, na última década do século XIX, ensaios balísticos já eram realizados com gelatina, conforme relatado por Fackler (1991). A Kocher é atribuído o crédito de ter iniciado os estudos de balística terminal de forma científica, ainda na década de 1870 (KNEUBUEHL, 2008). Contudo, somente por volta de 1982, um século depois, os primeiros ensaios com validade científica começaram a ser levados a efeito com o emprego de gelatina balística, após o desenvolvimento do processo de calibração (FACKLER, 1995, 1998).

É cediço que no final dos anos 1980 o FBI começou a realizar testes nas primeiras versões da gelatina balística, um composto de água e uma miscelânea de compostos orgânicos proteicos desidratados de origem animal. A ideia original era substituir os testes realizados em animais vivos, que, evidentemente, não representavam um meio homogêneo para ensaios balísticos, com variações de resultados podendo ocorrer por diferenças de massa, composição corporal, resistência de tecidos conjutivos etc..

Por derradeiro, optou-se pela gelatina do tipo A, fabricada através do

tratamento do colágeno animal em meio ácido, com Bloom de 250. O Bloom reflete o peso molecular de seus componentes, sendo o valor de 250 considerado de alta dureza (HANANI, 2016).

A validade dos dados obtidos com o emprego de gelatina balística guarda estreita relação com a utilização da densidade adequada para o meio de teste. Dessa feita, a calibração dos blocos, realizada com disparos de esferas de aço através de uma carabina de ar de calibre 4,5 mm (.177), conforme proposto inicialmente por Fackler, é *conditio sine qua non* dos ensaios balísticos com escopo científico. A escolha por esferas de aço, no lugar dos projéteis comuns de chumbo, se deve à uniformidade de comportamento terminal pela ausência de guinada, tombamento ou fragmentação (HAAG, 1989 e 2010; POST; JOHNSON, 1995), contribuindo para a redução da incerteza do ensaio.

Segundo Humphrey e Kumaratilake (2016, p. 25, tradução nossa), a gelatina corretamente calibrada:

[...] replica as propriedades mecânicas da pele, gordura, fâscia, e tecido muscular da coxa suína. Como tecidos suínos são similares aos tecidos humanos, isto levou os pesquisadores a aceitar que as características de penetração de tecidos dos projéteis é o mesmo que ocorreria em tecido mole de humanos.

Nessa toada não se pode deixar de mencionar a contribuição do Dr. Martin Fackler, médico militar norte-americano, para a moderna doutrina da balística terminal, que muito contribuiu para o estabelecimento dos padrões aceitos da gelatina como simulador balístico. Fackler foi um dos fundadores da IWBA (*International Wound Ballistics Association* - Associação Internacional da Balística de Ferimentos) em 1991, responsável por inegáveis avanços no campo da balística terminal, em especial no melhoramento e padronização da gelatina balística.

O padrão estabelecido por Fackler e Malinovski (1985), de gelatina calibrada a 10%<sup>4</sup> a 4º C, foi o adotado pelo FBI e pela IWBA. Por meio da experimentação em suínos de cerca de 91 kg (200 lb), verificou-se que os parâmetros de penetração no tecido mole eram idênticos à gelatina balística (EVANS *et al.*, 2018; FACKLER, 1993).

---

<sup>4</sup> Em termos de concentração, o que significa que o produto final terá 10% de gelatina e 90% de água.

A diferença da profundidade de penetração entre o meio biológico e a gelatina foi estabelecida na casa de 1% (CARR; STEVENSON; MAHONEY, 2018).

Ademais, a transparência da gelatina permite a mensuração tanto da cavidade temporária quanto da cavidade permanente (POST; JOHNSON, 1995) e observação dos diferentes padrões de cavitação gerados pelos projéteis, conforme já anotado por Santos (2022).

Vale notar que existem outros padrões de produção de gelatina balística, como o adotado pela OTAN (Organização do Tratado do Atlântico Norte), de gelatina a 20% a 10° C, conhecida como “*NATO gelatin*” (BREEZE; JAMES; HEPPEL, 2013; GUEY *et al.*, 2018), também empregado pela polícia alemã<sup>5</sup>. Por ser um meio mais denso, os resultados obtidos com ensaios que utilizam gelatina a 10% devem ser sopesados para comparação, se necessária, por uma constante de 1,31 (CORZINE; ROBERTS, 1993).

De toda sorte, os dois padrões de concentração podem ser reputados como adequados para a análise da interação entre projéteis e tecidos moles (BIR *et al.*, 2016), ainda que o padrão de 10% seja amplamente majoritário na literatura como o meio preferencial para essa finalidade (FACKLER, BELLAMY, MALINOVSKI, 1986; HAAG, 1989; JIN *et al.*, 2018; JUSSILA, 2005; STEVENSON; CARR; STAPLEY, 2019; THIERAUF *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2005).

Registrem-se ainda os achados de Wolberg (1991), em estudo que correlacionou dados de autópsias de cadáveres oriundos de confrontos reais (n=28) do departamento de Polícia de San Diego (EUA) e ensaios com gelatina balística a 10% com a munição Winchester JHP de 147 gr. Nessa pesquisa, ficou estabelecido que a média de penetração da gelatina e dos casos reais foi idêntica (13”), conquanto na gelatina a variação de medição entre os disparos tenha sido menor (12-14”) do que nos corpos humanos (10-17”).

Parece claro que gelatina balística deve ser entendida como o que é de fato, um meio padronizado para ensaios, criado para simular a consistência de partes moles, com propriedades similares ao tecido suíno (FACKLER *et al.*, 1984b) e, por aproximação, ao tecido muscular humano (DOUGHERTY *et al.*, 2011). Nenhum simulante desenvolvido até o momento consegue replicar o corpo humano, o que se

---

<sup>5</sup> Como exigido no *Technische Richtlinie- Patrone 9 x 19 mm schadstoffreduziert* de 2021.

demonstraria praticamente impossível dada a miríade de variáveis de tecidos e densidades do meio biológico.

Por evidente, os resultados obtidos na gelatina (meio homogêneo) não necessariamente serão idênticos aos alcançados em caso de impacto contra um ser vivo, humano ou animal, tendo em vista a ausência de músculos, ossos, gordura, ligamentos, órgãos e toda a sorte de tecidos que fazem parte de um meio biológico, naturalmente heterogêneo (EVANS *et al.*, 2018; HUMPHREY; KUMARALATILAKE, 2016; MAIDEN *et al.*, 2015).

Mais além, pode-se inferir que, se essas estruturas biológicas (como ossos) fossem adicionadas aos blocos, os ensaios poderiam perder seu caráter científico, tendo em vista que os tecidos orgânicos seriam diferentes em cada experimento, impedindo, mais uma vez, sua repetibilidade e confirmação por pares. O próprio Fackler cita um caso ocorrido durante testes levados a efeito pela Polícia Montada do Canadá, em que o bloco de gelatina balística não atingiu a calibração necessária após a tentativa de inserção de costelas suínas (FACKLER, 1996a).

As vantagens do emprego da gelatina balística, para além dos aspectos éticos das pesquisas, ilidindo o uso de animais vivos ou PMHS, podem ser vislumbradas na repetibilidade dos ensaios e relativo baixo custo (EVANS *et al.*, 2018; SWAIN *et al.*, 2014). Assim, se os blocos forem devidamente calibrados, os resultados podem ser comparados *inter pares*, com a ampliação do espaço amostral de munições submetidas a testes sob as mesmas condições.

O estudo de Breeze, James e Hepper (2013) demonstrou a viabilidade do uso da gelatina balística para outros tipos de ensaios, não voltados especificamente ao campo das armas de fogo mas sim aos estilhaços oriundos de explosivos, uma das principais causas de morte no campo de batalha moderno. Já Mahoney e colaboradores (2017) empregaram a gelatina a 10% como preenchimento de modelos anatômicos sintéticos de crânios, para estudo das lesões causadas na região da cabeça pelo calibre 7,62 x 39 mm.

Registre-se que outros métodos desenvolvidos para a realização de testes balísticos, como simulações em computador, não apresentaram resultados satisfatórios de similaridade com o meio biológico. Um dos exemplos é o protocolo computacional utilizado nos anos 1970 pelo NIJ para criação do índice relativo de

incapacitação (RII- *relative incapacitation index*) são reputados como totalmente inadequados (JASON, 1992), por não conseguirem reproduzir a miríade de variáveis existentes na interação entre o projétil e um meio biológico, especialmente em seres humanos. Fackler (1992a) infere inclusive que o NIJ ignorou as falhas do RII até o episódio do Tiroteio de Miami de 1986, considerando que o projétil utilizado pelos agentes do FBI mortos era bem cotado pelo índice.

Na mesma toada, os blocos de origem sintética, como da *Clear Ballistics™*, demonstram resultados divergentes de penetração quando comparados à gelatina orgânica (CARR; STEVENSON; MAHONEY, 2018). Outros materiais mais densos, como argila e sabão, não produzem dados satisfatórios, oferecendo dados não realísticos quanto à penetração (mesmo de pontas não expansivas) e índices muito elevados de expansão, conforme relatado por Bresten (1997) e MacPherson (1997b), além de refletir o diâmetro máximo da cavidade temporária, o que pode levar a conclusões equivocadas (BARLETT, 2003). O raciocínio também se aplica, por consequência, à plastilina, espécie de “massa de modelar” por vezes empregada em demonstrações de munições feitas pela indústria.

Dessa feita, a gelatina balística calibrada a 10% permanece na atualidade como simulante mais utilizado para ensaios de performance de balística terminal, conquanto apresente limitações. Entende-se que seus pontos positivos, como o comportamento similar aos tecidos moles e a translucidez, superam seus pontos negativos, como a dificuldade em representar a heterogeneidade do meio biológico e a necessidade de calibração de cada bloco (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016) podendo ainda ser citada a necessidade do controle de temperatura do bloco durante todo o processo.

Sob a ótica da balística terminal e no desenvolvimento de novas soluções para fins de aplicação policial e/ou de defesa, se um projétil qualquer apresenta performance aquém do esperado na gelatina balística, um meio homogêneo, dificilmente terá comportamento balístico terminal adequado durante o caótico evento de um confronto armado, com diversas variáveis atuando sobre o resultado do embate.

De outra banda, um projétil de alta qualidade, com excelentes resultados na gelatina, tem a clara tendência de atingir os propósitos pretendidos em sua concepção na hipótese de uso de força letal para a cessação de uma ameaça. Pode-se presumir

que os resultados obtidos em gelatina se correlacionam, a priori, relativamente bem com os que seriam observados em situações reais (SWEENEY, 2018).

A literatura científica específica acerca do Protocolo do FBI é bastante escassa, tendo em vista que o texto original e os resultados obtidos pela instituição até o momento são mantidos sob sigilo, com acesso somente liberados para forças de segurança pública, mediante acordo de confidencialidade. Até o momento não foram encontrados artigos ou outros trabalhos acadêmicos que tratem de forma pormenorizada sobre o Protocolo.

Nada obstante, os parâmetros empregados e o roteiro de ensaios já são de conhecimento público há muitos anos e estão arrolados, por exemplo, nas obras de Sweeney (2018), Beyer (2007), Martini (2023) e por laboratórios especializados em testes balísticos nos EUA, como o DTB e o Brass Fetcher<sup>6</sup>.

Originalmente, o Protocolo consiste em seis fases subsequentes: gelatina nua, tecido pesado, madeira, *drywall*, chapa metálica e vidro automotivo. Em cada fase são efetuados cinco disparos.

A penetração mínima esperada dos projéteis na gelatina balística em cada fase do Protocolo é de 12", com um limite de 18". Índices acima de 18" equivaleriam a uma transfixação do corpo humano, sendo o *range* de 14" a 16" considerado o melhor possível (obtendo nota 10).

A penetração mínima de 12" (30,5 cm) adotada pelo FBI pode parecer demasiada *prima facie*, levando-se em conta que o torso médio humano tem cerca de 9,4" (ROBERTS, 1992). Contudo, deve-se ter em mente que o corpo possui outras estruturas (ossos, tendões, músculos, gordura, etc.) não replicadas no bloco de gelatina, o que, logicamente, afetará a capacidade de penetração do projétil em relação aos testes com gelatina balística.

Mais além, o projétil pode ter que transpor obstáculos intermediários (como um vidro automotivo ou a porta de um carro) ou atingir o agressor em ângulo e ainda ter a capacidade de penetrar fundo o suficiente para atingir grandes órgãos e vasos calibrosos, de modo a permitir uma perda abundante de sangue do agressor, como tratado com mais detalhes infra.

---

<sup>6</sup> Sítios eletrônicos <dtb.com> e <brassfetcher.com>.



De toda sorte, o Protocolo é amplamente aceito pelas forças de segurança pública em todo o ocidente como fonte confiável de informações sobre a performance das munições destinadas ao uso operacional e um dos principais parâmetros pelos quais a indústria bélica analisa seus novos lançamentos. Geralmente, os fabricantes de munição utilizam em seus materiais publicitários expressões como “Protocol Proven” (Provado no Protocolo) para enaltecer as capacidades de balística terminal de seus produtos.

Contudo, o Protocolo não é imune a críticas, como as de MacPherson (1998), que considera demasiado o emprego de barreiras de materiais de construção (como madeira e *drywall*) e vidro automotivo, com o mesmo peso de importância na análise final da performance da munição. O autor defende inclusive que os estágios iniciais (gelatina nua e tecido pesado) são mais relevantes ao trabalho policial que os demais.

Esse é um dos motivos pelo qual a IWBA adota, na sua versão de protocolo de ensaio de balística terminal, apenas as duas primeiras etapas (gelatina nua e tecido pesado), com composição diversa da barreira de tecido (quatro camadas de *denin/jeans*) em relação à empregada pelo FBI.

### 2.3 DO MECANISMO DE CAUSAÇÃO DE FERIMENTOS DE PROJÉTEIS DE ARMAS DE FOGO

Os ferimentos dos projéteis de armas de fogo no corpo humano, conforme a moderna literatura da Medicina Legal, se traduzem em lesões perfurocontusas, em razão da ação simultânea de perfuração e contusão, com prevalência da primeira (FRANÇA, 2014; SILVINO JUNIOR, 2021).

Nesse sentido, as interações de um projétil com uma estrutura biológica podem ser resumidas a quatro fenômenos: penetração, cavidade temporária, cavidade permanente e fragmentação (LEANDRO, 2016).

Via de regra, os projéteis de armas de fogo conseguem penetrar no corpo humano com o rompimento da pele e demais tecidos subjacentes, causando sérias lesões ao organismo através da compressão e esmagamento das estruturas.

O estudo levado a efeito por DiMaio e colaboradores (1982) apontou que um

projétil de calibre .38 SPL deve apresentar no mínimo 58 m/s apenas para perfurar a pele humana, demonstrando sua alta resistência à passagem de um projétil, o que deve ser levado em conta quando da análise dos resultados de penetração na gelatina balística. O estudo de Breeze e Clasper (2013) apurou que a pele é um retardante importante de projéteis e que, no caso de fragmentos, pode reduzir a penetração em cerca de 5%, índice idêntico ao encontrado na pesquisa com projéteis de armas de fogo de Barlett (2003).

Há registros de casos de pessoas atingidas na região da cabeça em que a ogiva não conseguiu superar a espessa caixa craniana, impedindo a causação de danos mais graves à vítima, com lesões limitadas às partes moles do couro cabeludo, como relatado por Beyer (2007) e Severance (1999) .

Superada a penetração do projétil no corpo humano, a passagem da ogiva no meio biológico forma a denominada **cavidade temporária**, devido ao esticamento dos tecidos sendo afastados em uma direção radial na direção oposta ao trajeto do projétil, chamada por alguns de *stretch injury* (DiMAIO, 1993; FACKLER, 1992c). Registre-se, nesse passo, que a existência da cavidade temporária já havia sido mencionada no final da década de 1940, em um estudo de Harvey e McMillen (1947) sobre projéteis de alta velocidade.

Esse deslocamento tecidual é causado por uma pressão de algumas atmosferas e tem duração de alguns milissegundos (DOUGHERTY *et al.*, 2011), com tamanho estimado entre 12,5 até 30 x o diâmetro do projétil para projéteis de fuzis (BARLETT, 2003; DiMAIO, 2016; FACKLER, 1988), sem embargo que o tamanho da cavidade temporária é dependente do montante de energia cinética transferido ao tecido (BERRYMAN, 2019).

No caso específico de tiros contra o crânio, o projétil produz ainda fraturas radiantes e concêntricas pela incapacidade do tecido ósseo de absorver a energia cinética, gerando lesões com aparência de teia de aranha (BERRYMAN, 2019; TAYLOR; KRANIOTI, 2018).

Vale também registrar o trabalho de KOMENDA e colaboradores (2013) na análise dos perfis de ferimento de projéteis frangíveis, compostos em sua maioria pela moldagem de pós metálicos (como cobre ou zinco). Segundo o estudo em tela, os projéteis frangíveis causam grandes cavidades temporárias quando de sua

desintegração no tecido mole.

Em termos de armas curtas<sup>7</sup>, a elasticidade dos tecidos corporais é geralmente superior ao potencial de dano da cavidade temporária, o que minimiza sua capacidade lesiva (NEWGARD, 1992). As estruturas como vasos sanguíneos, pulmões e vísceras são, no mais das vezes, capazes de retornar ao seu estado natural logo em seguida à passagem do projétil, sendo afastados mas não lesionados, apresentando tolerância superior ao trauma (ALEXANDROPOULOU; PANAGIOTOPOULOS, 2010). Seria um erro imaginar que as estruturas que suportaram a cavidade temporária estariam certamente fadadas à necrose, como já se pensou outrora (FACKLER, 1988; PRAT *et al.*, 2017).

Assim, lícito inferir que, na maioria das vezes, os tecidos corporais apresentam um limite de tensão elástica superior ao nível produzido por projéteis de armas curtas, o que explica a ausência ou insignificância de lesão causada por cavidade temporária (PATRICK, 1989). O grau de lesividade da cavidade temporária também varia conforme o tamanho da área atingida, conforme demonstrado por Janzon, Schantz e Seeman (1998), em estudo com porcos vivos.

Em via de exceção, é possível a causação de lesão por cavidade temporária de projéteis de armas curtas, em especial nos tecidos muito sensíveis (como o cérebro), com densidade próxima à água (como o baço) ou inelásticos (como o fígado e os rins), que poderão sofrer danos consideráveis (BARLETT, 2003; CLASPER, 2001; FACKLER, 1996a, 2000; FACKLER; BELLAMY; MALINOVSKI, 1988a; PINTO *et al.*, 2018; RHEE *et al.*, 2016). A elasticidade tecidual, dessa feita, tem papel preponderante no mecanismo de ferimentos oriundos da cavidade temporária (FACKLER *et al.*, 1984a).

Na alta probabilidade de causação de lesões pela cavidade temporária reside uma das principais diferenças entre projéteis de armas curtas<sup>8</sup> (de baixa velocidade) e de fuzis (de alta velocidade), sendo a “linha de corte” entre os dois mecanismos lesivos estabelecida pela maioria dos autores na casa de 2.000 fps<sup>9</sup> (BARLETT, 2003; DIMAIO, 1986; HARVEY, 1948; JAKOI *et al.*, 2015; PINTO *et al.*, 2018), muito embora alguns defendam o patamar de 2.500 fps (RHEE *et al.*, 2016).

---

<sup>7</sup> Como os revólveres e pistolas.

<sup>9</sup> Aproximadamente 610 m/s.

Enquanto projéteis de fuzis usualmente conseguem produzir lesões remotas, causando danos a estruturas corporais que não foram diretamente atingidas pelo projétil (CLASPER, 2001; JAKOI *et al.*, 2015; JANZON; SEEMAN, 1985; LAZOVIC; RADOJEVIC; JEDLICKA, 2016), inclusive fraturas ósseas (BREEZE *et al.*, 2014; CLASPER, 2001; DOUGHERTY *et al.*, 2011; DIMAIO, 2016; HARVEY, 1948), esse fenômeno geralmente não ocorre na seara das armas de baixa velocidade. É dizer, projéteis de diferentes velocidades causam níveis diversos de compressão tecidual e, conseqüentemente, tipos de lesão díspares (JUSSILA; KJELSTROM, LEPPANIEMI, 2005).

Nesse sentido, o estudo de Lazovic, Radojevic e Curovic (2016) corroborou a maior gravidade das lesões abdominais por projéteis de alta velocidade em relação aos de baixa velocidade, comparando o índice de complicações pós-operatórias entre dois grupos de pacientes com lesões de cólon, de idades homogêneas. Para o grupo com lesão por projéteis de alta velocidade, 25% apresentou complicações, enquanto entre aqueles atingidos por armas curtas o percentual foi de apenas 4%. Segundo a conclusão da pesquisa, esse maior índice pode ser oriundo justamente das lesões causadas pela cavidade temporária dos projéteis de alta velocidade.

O estudo de Suneson, Hansson e Seeman (1987) concluiu inclusive que disparos de alta energia na coxa de porcos anestesiados eram capazes de provocar lesões cerebrais, ainda que microscópicas, através do que restou denominado pelos autores de “onda de choque” (*shock wave*), fenômeno que antecederia a formação da cavidade temporária e teria uma duração muito inferior, de microsegundos (DOUGHERTY *et al.*, 2011).

Goränson e colaboradores (1988) chegaram em resultados similares aplicando metodologia idêntica, demonstrando variações no eletroencefalograma até cerca de 30 s após o impacto do projétil no membro. Nada obstante, o potencial lesivo das ondas de choque é debatido na literatura (no sentido contrário, Harvey, 1947, com corroboração de Fackler, 2000 e 2006).

Vale também registrar o uso do termo choque hidrostático (*hydrostatic shock*), desde os trabalhos de Frank Chamberlein durante a 2ª Guerra Mundial (COURTNEY; COURTNEY, 2010), empregado por vários pesquisadores como Taylor e Kranioti, 2008. Para Harvey e McMillen (1947), o choque hidrostático é composto por três diferenças de pressão, sendo uma formada por pulsos de ondas de alta

pressão quando ocorre o contato com o corpo, outra por regiões de pressão muito alta em frente e ao lado do projétil e uma terceira mais lenta, de baixa pressão, ligada ao comportamento da cavidade temporária formada atrás da ogiva.

Num outro viés, um estudo levado a cabo por Kieser *et al.* (2013) comprovou a tese das fraturas remotas por projéteis de alta energia (calibres 5,56 x 45 mm e .44 Magnum), empregando um modelo experimental com fêmures de veados dispostos no interior de blocos de gelatina balística a 20%, corroborando com o exposto por Hollermann *et al.* (1990). Registre-se que, apesar de ser enquadrado como calibre de baixa velocidade, o .44 Magnum gera na casa de 1.500 J de energia na boca do cano, na configuração do estudo em tela, mais do que o dobro do patamar alcançado por calibres mais comuns de armas curtas, como o 9 x 19 mm ou o .40 S&W.

Importante notar que, em caso de calibres e tipos de munição tipicamente militares, como o 5,56 x 45 mm<sup>10</sup> com projéteis totalmente jaquetados, o fenômeno da cavitação é de menores proporções no início do trajeto do projétil após o impacto com o meio biológico. Esse ferimento de gravidade inferior se convencionou denominar de pescoço (*neck*) de lesão (MANIGLIA, 2022) ou cavidade estreita (*narrow cavity*), no dizer de Thierauf *et al.* (2013) ou canal de ferimento estreito (*narrow wound channel*), segundo Stevenson, Carr e Stapley (2019).

Assim, até que o projétil de alta velocidade sofra a guinada (*yaw*) durante sua passagem pelos tecidos (trajeto), lateralizando-se em relação à linha de vôo por volta de 10 a 20 cm de profundidade de penetração, o processo de causação de lesão se assemelha às das armas curtas (FACKLER, 1992c, 1996), conforme exposto no Anexo B.

A guinada refere-se, dessa forma, ao ângulo existente entre o eixo longitudinal do projétil e seu trajeto, sendo de 0° se a ogiva está se deslocando com sua ponta para frente. Quando o projétil guina para 90°, todo o eixo longitudinal passa a esmagar os tecidos, ampliando a destruição orgânica em até três vezes, como anotado por Hollermann e Fackler (1995).

Dessa forma, quando o projétil finalmente tomba, fragmenta ou expande, a dispersão de energia cinética é aumentada pela maior superfície de contato, levando

---

<sup>10</sup> Empregado pela OTAN, Exército Brasileiro e virtualmente todas as forças policiais do Brasil.

a uma cavidade temporária alargada (STEVENSON; CARR; STAPLEY, 2019).

Nesse passo, vale notar o estudo de Rodrigues *et al.* (2018), que concluiu, através de modelo experimental com gelatina balística, que projéteis FMJ de calibre 7,62 x 51 mm que guinaram ao impactarem costelas, causaram lesões mais severas do que aqueles que não atingiram a camada óssea.

Em aclamado estudo acerca da balística terminal do calibre 5,56 x 45 mm com projéteis SS 109<sup>11</sup>, Thierauf e colaboradores (2013) correlacionaram a cavidade temporária com o tamanho do orifício de saída do projétil, apontando que esse orifício é muitas vezes maior que o diâmetro da ogiva se, no momento em que o projétil abandona o corpo, ainda estiver ao nível da cavidade temporária.

De toda sorte, após a expansão máxima causada pela cavidade temporária, os tecidos tendem a retornar ao estado anterior, de normalidade, por forças em sentido centrípeto (SANTOS; ISSA, 2023a). Restará então apenas a **cavidade permanente**, que pode ser entendida como o túnel formado pelos tecidos lesionados pela passagem direta do projétil, através da compressão e esmagamento das estruturas biológicas (Breeze *et al.*, 2014), que terá o diâmetro aproximado da própria ogiva.

Está estabelecido desde o início do Século XX, através do trabalho de Thompson e LaGarde (MAIDEN, 2014) que a cavidade permanente é o aspecto mais importante no estudo das lesões causadas por armas de baixa velocidade, sendo primordial para o processo de incapacitação da ameaça. Em relação a armas curtas, apenas os ferimentos oriundos da cavidade permanente serão preponderantes e confiáveis para a causação de lesão (FACKLER, 1992b; MacPHERSON, 1998; WOLBERG, 1993).

#### Segundo a acurada lição de DiMAIO:

No caso de projéteis de baixa velocidade, e.g. projéteis de pistola, a ogiva produz um caminho direto de destruição com baixa extensão lateral para os tecidos subjacentes, i.e, apenas uma pequena cavidade temporária é produzida. Como regra geral, a cavidade temporária desempenha pequeno, ou nenhum, papel na extensão do ferimento. A fragmentação do projétil também não. O montante de energia cinética perdida no tecido por um projétil de pistola é insuficiente para causar lesões remotas como as produzidas por

---

<sup>11</sup> Padrão atual da OTAN, é formado por um núcleo de chumbo com inserto de aço, recoberto pelo encamisamento de liga de cobre e latão.

um projétil de alta velocidade de fuzil. **Para causar lesões significativas, um projétil de pistola deve acertar a estrutura diretamente.** (DiMAIO, 2016, p.51, tradução e grifos nossos).

A gravidade da causação de lesões da cavidade permanente se encontra vinculada a alguns fatores construtivos do projétil: seu calibre real (diâmetro), massa, formato (CLASPER, 2001; FACKLER, 1996; FACKLER *et al.*, 1988; HENWOOD; OOST; FAIRGRIEVE, 2019; MABBOTT *et al.*, 2016;), material constitutivo (chumbo nu, cobre, chumbo jaquetado) e sua interação com o meio biológico durante seu trajeto (em especial se houve ou não a expansão, tombamento ou fragmentação da ogiva, como relatado por NEWGARD, 1992); bem como o montante de energia cinética carregada pela ogiva no momento do impacto (BARLETT, 2003; FACKLER, 1992b) e a forma como essa é dissipada pelos tecidos através da deformação, cavitação e fricção (JUSSILA; KJELLSTROM; LEPPANIEMI, 2005).

A forma como a energia cinética é dissipada nos tecidos é mais importante que o montante de energia carregado pela ogiva (DiMAIO, 2016), o que é fortemente influenciada pelos fenômenos da guinada, do tombamento e da fragmentação do projétil.

Repise-se que, no caso de armas de alta velocidade, em especial os fuzis, a severidade do ferimento da cavidade permanente é intrinsecamente ligada ao percurso do projétil até o tombamento do projétil, que ampliará a gravidade da lesão (DiMAIO, 2016; BERRYMAN, 2019). Fackler e Burkhalter (1992) advertem que, no caso de tiros em mãos ou pernas, os ferimentos muitas vezes se assemelham àqueles causados por munições de baixa velocidade, em razão da tendência das munições militares não causarem lesões extensas nos primeiros 12 cm de penetração no corpo (enquanto ainda percorrem um trajeto com a ponta para frente).

Quando encontram uma barreira mais densa que o ar (como o corpo humano), esses projéteis de alta velocidade tendem a tombar em razão da mudança de seu centro de massa, passando a seguir o trajeto com a base do projétil à frente, causando alongamento e aumentando a causação de lesão por cavidade permanente (RHEE *et al.*, 2016), como é comum no calibre 7,62 x 39 mm (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016). A menor distância percorrida em tecido antes do tombamento faz com que o 5,56 x 45 mm seja inclusive mais efetivo do que o 7,62 x 39 mm (DiMAIO, 2016),

apesar de apresentar energia cinética inferior.

Como bem lembrado por Fackler e colaboradores (1990) ao revisar os dados de um massacre ocorrido em uma escola com o uso de um AK-47 (calibre 7,62 x 39 mm), se o projétil não tombar no interior do corpo, os ferimentos serão semelhantes àqueles de projéteis de armas curtas. Nessa trágica ocasião, em face da pequena massa corporal das vítimas atingidas, o índice de letalidade foi de 14%, com vários casos de crianças socorridas e que se recuperaram de seus ferimentos, felizmente.

Cabe apontar ainda a ressalva apontada por Barlett (2003) quanto às espingardas (*shotguns*), que apesar de apresentarem projéteis de baixa velocidade possuem extensa capacidade lesiva, com uma mortalidade de praticamente o dobro em comparação às outras classes de armamento, sugerindo a classificação entre alta e baixa energia. Na mesma toada, DeMuth, Nicholas e Munger (1978), Clasper e colaboradores (2001) e Rhee e colaboradores (2016) corroboram o potencial devastador dos danos causados por disparos de espingardas a curtas distâncias, mesmo tendo projéteis expelidos abaixo de 2.000 fps, em face de sua grande massa.

Por derradeiro, a **fragmentação** é um fenômeno típico dos projéteis de alta velocidade, que se estilhaçam em pequenos pedaços em razão das forças de atrito que atuam sobre a ogiva após o impacto com o meio biológico (MANIGLIA, 2022). A fragmentação pode ampliar o potencial lesivo da cavidade temporária, ao enfraquecer os tecidos circundantes perfurados pelos fragmentos (FACKLER; BELLAMY; MALINOVSKY, 1988b).

O impacto do projétil com estruturas ósseas e consequente fraturas, em razão da falta de elasticidade desse tipo de tecido, poderá levar à formação de pequenos fragmentos secundários (pedaços do osso), que, em tese, podem contribuir para o processo lesivo dos planos adjacentes (RHEE *et al.*, 2016).

No caso do calibre 5,56 x 45 mm, por exemplo, o projétil tende a tombar e se fragmentar, ampliando a destruição de tecidos em modelos suínos em comparação com projéteis que não se fragmentaram (FACKLER *et al.*, 1984b). Pode-se afirmar, nesse diapasão, que as ogivas que se fragmentam ou se deformam tendem a causar lesões mais graves (HUMPHREY; KUMARATILAKE, 2016). No caso desse calibre em específico, a fragmentação tem um papel lesivo superior à própria cavidade temporária (FACKLER, 1988).



Já nas armas curtas, a fragmentação não é um fenômeno desejado no processo de incapacitação da ameaça (DiMAIO, 2016), pois a perda de massa geralmente acarreta menores níveis de penetração e lesões menos severas ao organismo do atacante, com pouca influência das cavidades permanentes dos projéteis secundários.

## 2.4 O FENÔMENO DA INCAPACITAÇÃO DE UMA AMEAÇA COM EMPREGO DE ARMA DE FOGO

Entendidos os fenômenos que ocorrem durante a interação entre um projétil de arma de fogo e um meio biológico, passaremos à discussão sobre a complexa temática da incapacitação, exatamente o objetivo da realização de disparos pelas forças de segurança pública quando confrontadas por indivíduos com capacidade de uso de força letal.

De pronto, necessário afirmar que o uso de força letal pelas polícias é admitido apenas como último recurso e na impossibilidade de emprego de outros métodos de menor potencial ofensivo contra o agressor. As instituições de aplicação da lei do país são treinadas segundo protocolos de uso diferenciado da força, assim definido: “O UDF consiste na adequação, na perfeita correlação entre a ação criminosa e a reação policial.” (BETINI; DUARTE, 2017, p. 71).

Dessa feita, forçoso se estabelecer o elo entre a ação do criminoso e a reação policial. Se houver uma ameaça letal (como pelo uso de arma de fogo ou arma branca), os policiais estão autorizados legal e doutrinariamente a fazer uso de força letal até incapacitar o agressor, para que cesse sua atividade com o intuito de prevenir a morte ou lesões a pessoas inocentes (NEWGARD, 1992).

Incapacitação será aqui entendida como o processo, pelo qual um agressor deixa de representar uma ameaça, não oferecendo mais riscos aos agentes de aplicação da lei e/ou terceiros inocentes. A incapacitação não está relacionada necessariamente à morte do agressor, mas sim à impossibilidade de continuar em seu intento de maneira voluntária (SILVINO JUNIOR, 2021).

Nesse sentido, pode-se afirmar que um ser humano imbuído em uma ação

criminosa pode ser incapacitado de duas formas, psicológica ou fisiologicamente.

A incapacitação psicológica é sempre imprevisível (KNEUBUEHL, 2008; ROBERTS, 1998), podendo a reação do agressor num confronto armado variar da indiferença ao ser atingido pelos projéteis até a total neutralização de sua atuação, mesmo sem ter sido de fato gravemente lesionado durante o embate (ROBERTS, 1998; WOLBERG, 1993).

Aqui, o perpetrador poderia ainda continuar na empreitada criminosa, mas por fatores psicológicos diversos (medo de morrer, susto, perturbação, arrependimento, influência de drogas), desiste de seu intento, por vezes sem ter sido sequer atingido por qualquer disparo (MANIGLIA, 2022), fenômeno chamado por alguns de choque neurogênico (FACKLER, 1999a).

Alguns oponentes, altamente motivados, podem persistir oferecendo resistência mesmo atingidos diversas vezes e gravemente lesionados, enquanto outros desistem de seu intento criminoso mesmo que não tenham suportado lesões de maior seriedade. Ao contrário do senso comum, a dor geralmente não é um fator preponderante para a incapacitação e pode ser até mesmo ausente nos primeiros momentos pós-lesão (WOLBERG, 1993).

Já sob a perspectiva fisiológica, o agressor sofre um bloqueio físico do corpo, que o impede de prosseguir (SILVINO JUNIOR, 2021). A incapacitação fisiológica pode ocorrer em razão de dois mecanismos distintos. O primeiro, por via direta ou imediata, é a causação de danos ao Sistema Nervoso Central (SNC), especialmente no tronco encefálico ou coluna cervical (LEANDRO, 2016; NEWGARD, 1992) graves o suficiente para levar o agressor à inconsciência de forma imediata.

Se um projétil de arma de fogo conseguir acertar o tronco encefálico, ou danificar severamente o encéfalo em si, a incapacitação ocorrerá independente do calibre empregado (MANIGLIA, 2022). Assim, danos causados ao SNC comprometem diretamente a capacidade de movimentação do corpo, levando à **incapacitação imediata** (MARIZ, 2019).

O segundo é por uma via mediata, também denominada de **incapacitação tardia**, que ocorre em razão da perda abundantemente de sangue pela secção de grandes vasos sanguíneos, outras estruturas altamente vascularizadas ou mesmo pelas lesões ao próprio coração. O extravasamento de sangue leva a uma queda

abrupta da pressão sanguínea, causando o choque hipovolêmico e a consequente perda de consciência, incapacitando o agressor (MANIGLIA, 2022; NEWGARD, 1992). Nessa hipótese, a evolução ao óbito dependerá, no mais das vezes, do nível de atendimento pré-hospitalar recebido pelo indivíduo, bem como da velocidade de deslocamento até um centro de referência e das capacidades técnicas do nosocômio.

Do ponto de vista fisiológico, didaticamente se criou o chamado “triângulo da incapacitação”, entendido na atualidade como composto pelos seguintes elementos: localização do disparo, penetração e diâmetro de lesão (SILVINO JUNIOR, 2021).

A localização do disparo é o único componente que depende da habilidade e do nível de treinamento do operador (MANIGLIA, 2022), que terá que acertar seus tiros em zonas vitais, mesmo com a degradação de performance causada pelo extremo stress de um confronto armado.

Evidentemente, se o tiro acertar em região não-vital, como o tornozelo do agressor, pouco importa se o projétil terá a penetração e/ou expansão adequadas, pois o primeiro requisito da eficiência do disparo (localização) não foi cumprido. Fica evidente que a posição de acerto do projétil no corpo humano (também chamada de topografia corporal) é um fator essencial para a incapacitação (DAVIS, 1993; FACKLER, 1999b; LEANDRO, 2016).

Vale apontar, nessa seara, que não são raros os casos relatados de pessoas que sobreviveram a disparos de armas de fogo que atingiram o coração. Os dados coligidos por Beall (1972) e corroborados por Newgard (1992) apontam uma taxa de mortalidade de apenas 35% de indivíduos socorridos a tempo com ferimentos de PAFs na região cardíaca.

Mesmo em caso de lesões notadamente graves ao sistema circulatório, o atingido ainda possui certo tempo de consciência (podendo ainda representar uma ameaça), em razão do montante de oxigênio ainda disponível no cérebro, ao que se costumou chamar de “10 segundos do homem morto” (LEANDRO, 2016), fenômeno citado também por Fackler (1992b) ao afirmar que mesmo tiros no torso não podem garantir a imediata incapacitação de uma pessoa.

Com tiros colocados em centro de massa do oponente (geralmente o torso), a penetração do projétil é o próximo fator preponderante para a eficácia no processo de incapacitação de um ser humano (ADKINS *et al.*, 1987; BEYER, 2007;

COURTNEY; COURTNEY, 2007), tendo em vista que os órgãos mais nobres e essenciais à manutenção das funções vitais e os grandes vasos estão anatomicamente dispostos em estruturas mais profundas do corpo (MANIGLIA, 2022), não raro envoltos por estruturas protetivas específicas (como a díploe nos ossos do neurocrânio, ou a caixa torácica que envolve o coração e pulmões).

Conforme estabelecido no *Wound Ballistics Workshop* de 1987, os mecanismos de lesão críticos para as munições de armas curtas são, em ordem de importância, a penetração e a cavidade permanente<sup>12</sup> (ADKINS *et al.*, 1987). Percebe-se a preponderância do fator “penetração” em relação ao aumento da cavidade permanente através da expansão, revestindo-se de maior importância na hierarquia dos fatores para a incapacitação fisiológica. Para esse tipo de armamento, a posição do tiro e a penetração são os fatores mais importantes para a incapacitação (FACKLER, 1993).

A expansão do projétil, ampliando o diâmetro da cavidade permanente deve ser considerada um bônus quando - e se - ocorrer (PATRICK, 1989). A seleção do projétil, dessa forma, deve ser em primeiro plano lastreada em seu nível de penetração, essencial para a possibilidade de lesão a órgãos vitais e vasos sanguíneos calibrosos.

Percebe-se que para a moderna doutrina da balística terminal, a expansão deve ser vista como um *plus* de performance do projétil que conseguiu atingir as estruturas mais nobres do corpo e não percebida como o objetivo final do design da munição, somente atingida às custas da penetração.

Dessa feita, infere-se que uma munição de arma curta, própria ao uso policial, deve apresentar as seguintes características: penetração adequada, mesmo quando impactarem barreiras intermediárias; retenção de massa; não fragmentação e expansão (FACKLER, 1992b; SWEENEY, 2018).

---

<sup>12</sup> Cavidade permanente entendida, no contexto, como diâmetro da lesão causada pelo projétil durante seu trajeto.

### 3 JUSTIFICATIVA

Do ponto de vista das instituições de segurança pública, é inarredável a aplicação da balística terminal para a esmerada escolha de suas munições de uso operacional, de modo a ampliar as chances de sucesso dos policiais em caso de necessidade de uso de força letal na incapacitação de uma ameaça.

À falta de evidência científica isenta acerca da performance balística das munições de uso policial do Brasil, necessária se faz a realização de pesquisa acadêmica nesse sentido, segundo um protocolo de testes amplamente aceito mundialmente. Assim, ao fim e ao cabo será possível determinar, de forma objetiva, auditável e repetível, quais são as melhores opções disponíveis para os cartuchos de uso policial.



## 4 OBJETIVOS

Partindo-se da premissa exposta na parte introdutória, o presente estudo se propõe a realizar a testagem independente das munições da indústria nacional destinadas ao trabalho policial, com diferentes tipos de projéteis, nos calibres .38 SPL, .380 ACP, 9 x 19 mm, .40 S&W e .45 ACP, segundo ensaios e parâmetros estabelecidos pelo Protocolo do FBI, sendo empregado como meio de simulação tecidual a gelatina balística calibrada a 10% e barreiras intermediárias de tecido pesado, madeira, chapas de aço e vidro automotivo.

### 4.1 OBJETIVOS PRINCIPAIS

Analisar o comportamento balístico de diferentes tipos de munição empregadas por forças de segurança pública e determinar seus parâmetros de penetração, expansão e retenção de massa, com utilização de diferentes barreiras intermediárias, conforme previsto no Protocolo do FBI.

### 4.2 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS

- Classificar as munições de acordo com seu desempenho balístico, oferecendo subsídios técnicos às instituições policiais para a escolha do melhor tipo de projétil para uso operacional, de acordo com suas necessidades táticas.
- Correlacionar o comportamento de projéteis ogivais/ponta plana (FMJ/FMJ-FN) com os de ponta oca (JHP) sob a ótica da causação de lesão e potencial de incapacitação.
- Comparar os cartuchos de fabricação nacional destinados ao uso operacional com o Federal HST norte-americano, amplamente empregado por forças de segurança daquele país.





## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. APROVAÇÃO DO PROJETO PELOS COMITÊS DE ÉTICA EM PESQUISA

O presente estudo obteve dispensa de aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (CEP/HCFMRP) e pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (CEUA-FMRP/USP), por tratar-se exclusivamente de pesquisa experimental sem o envolvimento de seres humanos, animais ou materiais biológicos, direta ou indiretamente, de acordo com a metodologia proposta no projeto de pesquisa (Anexo 11.1).

### 5.2 RECURSOS

O estudo não contou com bolsa de fomento, patrocínio, abono ou incentivo de qualquer natureza, sendo todas as despesas decorrentes dos ensaios, incluindo armas de fogo, munições, gelatina balística e barreiras intermediárias, custeadas pelo próprio pesquisador.

Registre-se que a empresa Pilkington do Brasil cedeu a título gratuito as barreiras de vidro automotivo.

### 5.3 GELATINA BALÍSTICA

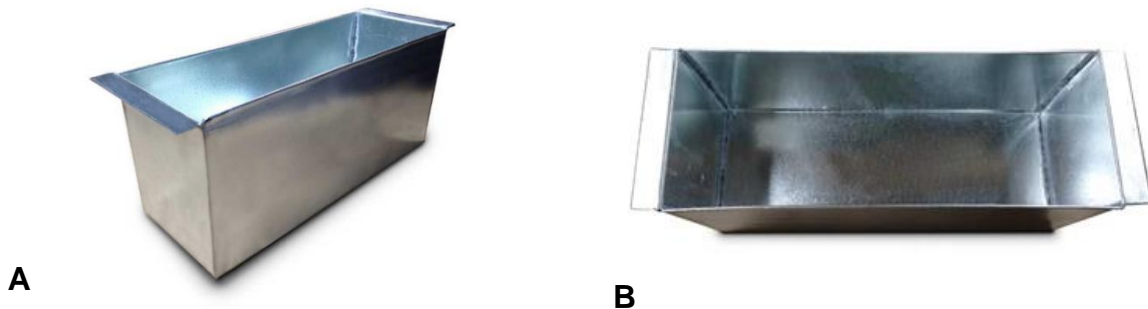
Conforme previsto pelo Protocolo do FBI, o meio padronizado utilizado para a realização dos ensaios foi a gelatina balística, calibrada a 10%, obtida através da mistura de nove partes de água para uma parte de gelatina em pó.

Como insumo para a produção da gelatina foi empregado o pó incolor industrializado, de origem suína, fabricado pela indústria nacional Gelnex, sediada em Nazário/GO. A gelatina, tipo A, com Bloom 250, foi adquirida em saco de 25 kg, sendo posteriormente fracionada para armazenamento em local seco e sem contato com luz

solar.

Os blocos de gelatina balística utilizado para a coleta amostral da pesquisa foram formatados conforme o molde metálico *FBI Block Mold*<sup>®</sup> da empresa Clear Ballistics<sup>13</sup>. As dimensões de cada bloco, conforme determinado pela Instituição, é de 16 x 6 x 6 polegadas (40 x 15 x 15 cm), perfazendo um volume total de 9.000 cm<sup>3</sup>.

Figura 3 - Molde metálico *FBI Block Mold*<sup>®</sup> para acomodação da gelatina, quando na sua fase líquida, nas proporções recomendadas pelo FBI. A) Vista frontal e lateral; B) vista do interior do molde.



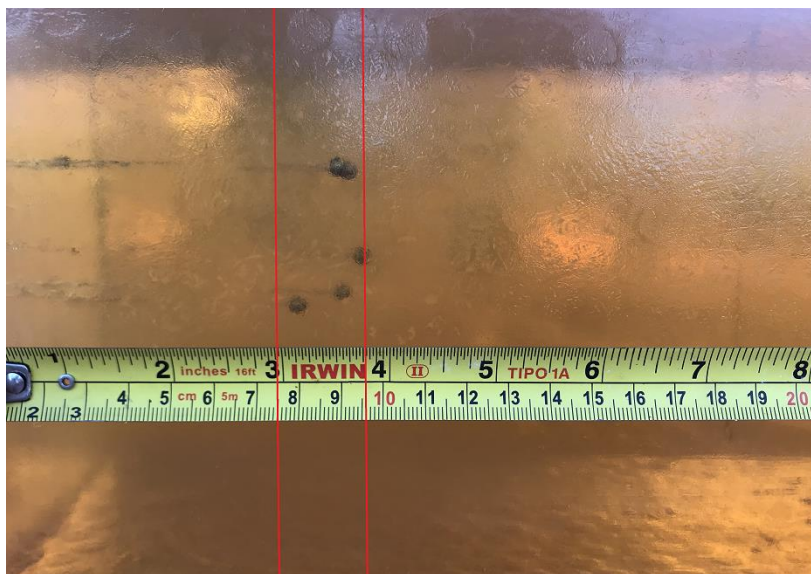
Fonte: SANTOS; ISSA, 2021.

Os blocos de gelatina seguiram o processo de fabricação com patente requerida por Santos e Issa (2021), registrado sob número BR 10 2021 026401 2. Dessa feita, em face da proteção legal à propriedade industrial, as etapas fabris específicas do produto não serão arroladas nesse trabalho.

A calibração da consistência do bloco de gelatina foi verificada em todas as etapas dos ensaios, com a realização de cinco disparos de esferas de aço de 0,37 g de massa através de uma carabina de ar comprimido CBC, de calibre 4,5 mm, com velocidade média de boca de cano de 590 fps ( $\pm 15$  fps). A penetração das esferas deveria estar situada entre 7,5 e 9,5 cm, conforme padrão do FBI ( $8,5 \pm 1$  cm), para a validação dos dados obtidos.

<sup>13</sup> Disponível em: <https://www.clearballistics.com/shop/fbi-block-mold-16x6x6/>. Acessado em 03/07/2022.

Figura 4 - demonstração da calibra o da gelatina com esferas de aço



Fonte: do autor.

#### 5.4 ARMAMENTO E MUNIÇÃO

Por se tratarem de materiais de uso controlado, as armas de fogo e munições empregadas no estudo são de propriedade do próprio mestrando, detentor de Certificado de Registro (CR) perante o Exército Brasileiro e autoriza o de porte de arma por prerrogativa de fun o pública (conforme o art. 6 , II, Lei 10.826/03).

Como exce o, nas duas primeiras etapas de ensaios foram empregados um RT 889, calibre .38 SPL, e uma IMBEL MD-1, calibre .45 ACP, de propriedade do orientador do mestrando, também possuidor de CR e porte de arma, que se fez presente ao local dos testes.

Todas as armas de fogo utilizadas estavam com seus respectivos Certificados de Registro (CRAF) dentro do prazo de validade, junto   Polícia Federal ou Exército Brasileiro.

Segue a listagem completa dos armamentos empregados durante os ensaios:

Quadro 1: Armas empregadas nos ensaios

Fabricante	Modelo	Calibre	Tamanho de cano
Glock	G-28	.380 ACP	3,4"
Glock	G-19	9 x 19 mm	4"
Taurus	RT 627	.357 Magnum/.38 SPL	4"
Taurus	PT 840	.40 S&W	4"
Taurus	PT1911	.45 ACP	5"

Fonte: do autor.

Segue exemplo de uma das pistolas utilizadas nos ensaios, de propriedade do autor.

Figura 5 - Pistola Taurus PT 840, calibre .40 S&amp;W.



Fonte: do autor.

Os cartuchos foram adquiridos no comércio especializado em blisters de 10 unidades, à exceção da Federal HST, disponível em caixas de 20 cartuchos. Todas as munições utilizadas de fabricação nacional foram produzidas pela Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC), sediada em Ribeirão Pires/SP. A munição Federal HST, de origem norte-americana, é fabricada na cidade de Anoka/MN/USA.

Figura 6 - amostra de cartuchos Copper Bullet Tactical, em .45 ACP, da CBC.



Fonte: do autor.

Os calibres e tipos de projétil escolhidos para o estudo foram os seguintes:

Quadro 2- calibres e munições empregados na pesquisa

Calibre	Munição 1	Munição 2	Munição 3	Munição 4	Munição 5
.38 SPL	Gold Hex +P+, 125 gr	-	-	-	
.380 ACP	ETOG +P, 95 gr	Gold Hex +P, 85 gr	-	-	
9 x19 mm	ETOG, 124 gr	Gold Hex +P+, 115 gr	Copper Bullet Tactical +P+, 92,6 gr	Bonded +P, 147 gr	HST 147 gr
.40 S&W	ETPP, 180 gr	Gold Hex, 155 gr	Copper Bullet Tactical, 130 gr	-	
.45 ACP	ETOG, 230 gr	Gold Hex +P, 185 gr	Copper Bullet Tactical +P, 165 gr	-	

Fonte: do autor.

Percebe-se que os projéteis objetos de pesquisa são divididos em três grupos, os ogivais/ponta plana (ETOG/ETPP), os expansivos de ponta oca (EXPO) e os monolíticos de cobre.

Os ETOG/ETPP são projéteis com menor tecnologia empregada em seu processo fabril, por muitos considerados (erroneamente) apenas como munição destinada ao treinamento. Seu núcleo é composto por chumbo, enquanto que a jaqueta que recobre o projétil é formada geralmente por cobre ou *tombac*, uma liga de cobre e zinco (MASSARO, 2015). A jaqueta tem por finalidade impedir o contato direto do chumbo com o raiamento, evitando o depósito do metal nos cavados e permitindo maiores velocidades da ogiva, que com esse revestimento pode passar dos 2.000 fps (RHEE *et al.*, 2016).

Já os projéteis de ponta oca são geralmente constituídos por um núcleo de

chumbo e também encamisados, mas com uma abertura na ponta destinada a expandir o projétil após o contato com um meio hidro-sólido, ampliando o diâmetro de lesão (RHEE *et al.*, 2016). Via de regra, os fabricantes unicamente indicam esse tipo de ponta para defesa pessoal, através de suas linhas *premium*.

Por derradeiro, na pesquisa será usado um tipo de projétil monolítico de ponta oca, da linha Copper Bullet Tactical, composto unicamente por cobre coberto por uma camada de estanho, sem encamisamento nem núcleo de chumbo (TOCCHETTO, 2021). Nota-se que, por ter uma densidade menor que o chumbo, os projéteis de cobre são mais leves do que a média dos projéteis destinados àquele calibre nominal específico. De outra banda, alegadamente os projéteis monolíticos tendem a apresentar um melhor comportamento terminal contra barreiras intermediárias, por serem constituídos de apenas um corpo sólido.

#### **5.4.1 Da escolha dos calibres e munições para o estudo**

Pelo mundo afora, pululam discussões sobre qual é o melhor calibre de armas curtas para a atividade policial (geralmente focadas no 9 x 19 mm, .40 S&W, .45 ACP ou .357 SIG), bem como qual é a melhor munição a ser utilizada pelos agentes da lei na linha de frente (dentre as principais referências do mercado, temos a Hornady Critical Duty™, a Speer Gold Dot™ e a Federal HST™).

No Brasil, até recentemente a maior parte das Instituições de Segurança Pública estaduais, como as Polícias Militares, Cíveis e Penais, empregava pistolas de fabricação nacional no calibre .40 S&W, utilizando munições CBC Gold Hex ou Copper Bullet Tactical.

Na atualidade, especialmente pós-2019, a maioria das forças policiais do Brasil migrou para o 9 x 19 mm, como as Polícias Militares e Cíveis do Distrito Federal, Paraná, Santa Catarina (nas plataformas Glock e Beretta APX), dentre diversas outras instituições ainda em processo de transição. É lícito inferir que na atualidade o 9 x 19 mm se tornou praticamente hegemônico no mercado nacional para uso policial, já sendo o calibre mais empregado no país, notadamente após sua mudança de *status*

de “restrito” para “permitido”<sup>14</sup> no período 2019-2023.

As forças mantidas pela União, como a Polícia Federal, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Penal Federal e Força Nacional de Segurança Pública têm como padrão pistolas Glock e Beretta em calibre 9 x 19 mm, adotando munições CBC da linha Bonded, de 147 gr atualmente, já tendo utilizado as Gold Hex de 115 gr em tempos passados.

As Polícias Civis dos Estado de São Paulo e Paraná empregaram também, ainda que proporção reduzida, pistolas no calibre .45 ACP, conquanto na atualidade tenham padronizado seu calibre de dotação para o 9 x 19 mm.

Na seara das armas longas de baixa velocidade, a maioria dos órgãos estaduais e federais utiliza a submetralhadora SMT-40 (ou sua versão semiautomática, a CTT-40), calibre .40 S&W; SMT-9 ou versões da alemã HK MP5, ambas em 9 x 19 mm. Hodiernamente, vêm aos poucos se popularizando as carabinas em calibre de pistola e na plataforma AR (*Armalite Rifle*), em 9 x 19 mm, como as produzidas pelas empresas nacionais Taurus e Fire Eagle.

As Forças Armadas, por vezes chamadas para atuar na seara da Segurança Pública nas chamadas Operações de Garantia da Lei e da Ordem (GLO), utilizam projéteis jaquetados ogivais (*ball ammo*) como padrão de dotação, tanto nas pistolas, em calibre 9 x 19 mm quanto nos fuzis, atualmente em processo de transição para o calibre 5,56 x 45 mm. A limitação ao uso dos cartuchos expansivos (ponta oca ou ponta mole) por forças militares decorre da Convenção de Haia de 1899, que impede que os exércitos regulares empreguem munições expansivas (FACKLER, 1996b).

Não se pode olvidar também das Guardas Municipais, que receberam o poder de polícia com a Lei 13.022/14, sendo parte do atual Sistema Único de Segurança Pública (SUSP). Até o ano de 2019, por conta da previsão contida no art. 42, §4º, do revogado Decreto 5.123/14, as Guardas Municipais tinham acesso somente às armas de uso permitido. Por esta razão, a maior parte delas ainda adota, em alguma monta, revólveres em calibre .38 SPL e pistolas em calibre .380 ACP. A munição escolhida é geralmente a CBC Gold Hex.

De todo o exposto, foram selecionados para fins do presente estudo os

---

<sup>14</sup> Registre-se que, em virtude do decreto 11.615/23, os calibres 9 x 19 mm, .40 S&W, .45 ACP e diversos outros voltaram à categoria de “restritos”.



calibres nominais de baixa velocidade (< 2.000 fps) empregados por virtualmente todas as forças de segurança pública do país.

Os tipos de munição nacional escolhidos (ogival, Gold Hex, Copper Bullet Tactical e Bonded) são aqueles comumente utilizados pelas instituições de segurança pública do Brasil. O único cartucho não produzido pela CBC testado, o Federal HST™, servirá como padrão de comparação de desempenho, tendo em vista ser amplamente utilizado por diversas *law enforcement agencies* nos EUA. Registre-se que a munição Hornady Critical Duty™, atual padrão do FBI, não estava disponível para aquisição durante o período de coleta de dados da pesquisa.

## 5.5 PROTOCOLO DE ENSAIOS E BARREIRAS INTERMEDIÁRIAS

O FBI (*Federal Bureau of Investigation*) é uma *law enforcement agency* (LEA) vinculada ao Departamento de Justiça (DOJ - *Department of Justice*) e membro da Comunidade de Inteligência dos EUA. O Bureau é responsável pela apuração dos crimes federais nos Estados Unidos da América, como terrorismo, do colarinho branco e de corrupção. Ao lado de outras agências, como o DEA (*Drug Enforcement Administration*) e o BATF (*Bureau of Alcohol, Tobacco, Firearms and Explosives*), compõe o arcabouço de órgãos federais responsáveis pela aplicação da lei em todo o território norte-americano

O “Protocolo do FBI” para a testagem das munições de uso policial foi criado em razão do trágico “Tiroteio de Miami”, ocorrido em 11/04/1986, ocasião em que os Agentes Jerry Dove e Benjamin Grogan foram mortos num confronto armado com dois assaltantes de banco, Michael Platt e William Mattix<sup>15</sup>.

Em razão do catastrófico resultado para a instituição, foi estabelecido um *workshop* já no ano seguinte (Adkins *et al.*, 1987), contando com os maiores expoentes da balística terminal à época, como o Dr. Martin Fackler e o Dr. Vincent DiMaio. O FBI procurava respostas para o confronto de Miami, em especial no tocante ao desempenho dos armamentos utilizados pelos agentes naquele fatídico dia.

---

<sup>15</sup> O relatório final sobre o incidente, do próprio FBI, pode ser consultado em < <https://vault.fbi.gov/FBI%20Miami%20Shooting%204-11-86%20Miami%20Shooting%204-11-86%20Part%201%20of%2011%20>>. Acesso em 10/01/2024.

Posteriormente, as contribuições dos especialistas quanto ao tema nesse e demais em questão restou publicada, sendo citadas em diversas partes desse trabalho.

Resumidamente, os calibres utilizados pelos policiais à época, o .38 SPL e o 9 x 19 mm, foram tachados de “ineficazes”, sem “poder de parada”, o que levou ao final à criação do .40 S&W e consequente adoção pelo FBI e grande parte das forças de segurança americanas e do resto do mundo ocidental (WENDLING, 2019), inclusive no Brasil.

O Protocolo do FBI foi adotado oficialmente pela instituição logo em seguida, em dezembro de 1988, através da FTU (*Firearms Training Unit* - unidade de treinamento com armas de fogo), tornando-se o padrão mais aceito mundialmente na análise da eficácia balística terminal de munições. Parece evidente a influência do confronto de Miami em vários ensaios do Protocolo, em especial nas etapas de chapas metálicas (que simulam a porta de um automóvel) e de vidro automotivo, que mimetiza o combate contra um oponente que se encontra dentro de um veículo, tal qual ocorreu em abril de 1986.

Como visto, o Protocolo de ensaio previsto prevê uma etapa inicial com gelatina nua, seguida de tipos de barreiras intermediárias: tecido pesado, chapas de metal, madeira e vidro automotivo, restando excluída do estudo a barreira de *drywall* (gesso acartonado) em razão do tipo diverso da construção residencial empregada no Brasil (que usa majoritariamente a alvenaria).

A barreira de tecido pesado (*heavy clothing*) era constituída de quatro camadas, camiseta de algodão (tecido 100% algodão, com densidade de aproximadamente 135 g/m<sup>2</sup>), camisa de algodão (tricoline 100% algodão, densidade de 120 g/m<sup>2</sup>), lã sintética (substitutiva do *Polartec Fleece*, com densidade de 250 g/m<sup>2</sup>) e jeans de algodão (com densidade de aproximadamente 490 g/m<sup>2</sup>), como visto na figura 8. As camadas foram cortadas e costuradas para a manutenção de sua unidade durante a realização dos disparos. O fornecedor dos tecidos foi a empresa Urbano Têxtil, de Nova Trento/SC.

Figura 7 - Detalhe das quatro camadas de tecido utilizadas nos ensaios.



Fonte: do autor.

A barreira de madeira compensada era constituída por um pedaço de 1,8 cm de espessura de compensado naval, medindo 25 x 25 cm, disposto a 18" (45,7 cm) do bloco de gelatina balística com tecido leve. O compensado naval foi o tipo de madeira mais próximo disponível no mercado nacional do denominado "AA" *fir plywood*, do Protocolo original, que utiliza a barreira com 1,82 cm (indisponível no padrão brasileiro). A madeira foi adquirida na "Casa do Marceneiro", em Brasília/DF.

Figura 8 - Madeira compensada utilizada nos ensaios.



Fonte: do autor.

A barreira de chapas de aço era composta por duas folhas de aço galvanizado "20 ga" (0,95 mm), laminado a quente, separadas por 3" (7,62 cm) e postadas a 18"

(45,72 cm) do bloco de gelatina, que contava ainda com a barreira de tecido leve<sup>16</sup>. As chapas foram adquiridas em uma serralheria em Brasília/DF, cortadas em quadrados de 20 cm de lado.

Figura 9 - Chapa de aço galvanizado utilizada nos ensaios.



Fonte: do autor.

Por derradeiro, a barreira de vidro automotivo era composta por um pedaço de aproximadamente 40 x 40 cm de vidro automotivo laminado de 6,26 mm de espessura, colocado em suporte de madeira em ângulo de 45° em relação à horizontal e 15° de lateralidade, resultando em ângulo composto (sendo os ângulos aferidos com um goniômetro). O bloco de gelatina balística, com barreira de tecido leve, foi colocado à distância de 18" (45,7 cm). As barreiras foram fornecidas a título gratuito pela empresa Pilkington Brasil, situada em Caçapava/SP, sem qualquer relação com a produção de armas ou munições, não sendo parte interessada nos resultados do estudo.

---

<sup>16</sup> Composta apenas pelas duas camadas de tecido de algodão, sem a lã sintética e o jeans.

Figura 10 - Vidro automotivo utilizado nos ensaios.



Fonte: do autor.

Gize-se que a espessura de 6,26 mm foi a mais próxima possível do padrão do FBI (6,35 mm), tendo em vista que o sistema de medida de vidros automotivos americano difere do brasileiro.

Em suma, a presente pesquisa se encontra baseada amplamente no Protocolo do FBI original, mas não se traduz em sua reprodução *ipsis literis* dos ensaios pelas seguintes razões: ausência da etapa de barreira de *drywall* e mínimas diferenças entre as barreiras utilizadas, em face dos diferentes padrões de medidas (6,26 mm ao invés de 6,35 mm no vidro automotivo; 1,8 ao invés de 1,82 cm na madeira compensada).

Nada obstante, como todas as munições passaram por exatamente as mesmas barreiras, os resultados são passíveis de mensuração e comparação, para que seja observado qual tipo de cartucho se mostra mais apto ao trabalho policial, conforme os parâmetros eleitos pelo FBI.

## 5.6 CÁLCULO DA PONTUAÇÃO

A cada tipo de munição de calibre 9 x 19 mm foi atribuída uma nota em relação à performance nos ensaios realizados. Os cálculos foram realizados conforme o

método exposto infra, sistematizado pela Brass Fetcher Ballistic Testing<sup>17</sup>. Para os demais calibres, o FBI não disponibiliza a fórmula de cálculo, que varia especificamente na pontuação atribuída aos diâmetros finais dos projéteis pós-expansão.

A pontuação máxima para o ensaio é de 500 (quinhentos) pontos, com especial relevância dada à penetração mínima de 12” na gelatina balística. Casos de subpenetração são severamente punidos pela equação, podendo resultar inclusive em pontuação negativa no primeiro (e mais importante) parâmetro.

É perceptível pelo cálculo da pontuação que o fator preponderante para um bom desempenho de um determinado tipo de munição é a penetração (otimamente situada na média de 14 a 15,99”, que recebe a nota máxima), com peso aproximado de 70%, seguida da expansão (peso de 20%) e retenção de massa (peso de 10%).

Tabelas 1 a 3 – Pontuação para o calibre 9 x 19 mm segundo os parâmetros de penetração, expansão e retenção de massa.

#### Parâmetro I (P1) - Penetração

Penetração (polegadas)		Pontos
0,0	11,99	1
12,0	13,99	8
14,0	15,99	10
16,0	18,00	8
18,1	∞	5

<sup>17</sup> Disponível *online* em <https://www.brassfetcher.com/FBI%20Ammunition%20Protocol/FBI%20Ammunition%20Protocol.html>. Acesso em 07/08/2021.

Desvio padrão (polegadas)		Pontos
0,00	0,50	1
0,51	1,00	0,9
1,01	1,50	0,8
1,51	2,00	0,7
2,01	2,50	0,6
2,51	3,00	0,5
3,01	3,50	0,4
3,51	4,00	0,3
4,01	4,50	0,2
4,51	97,9	0,1

Tiros <12"	Pontuação
0	10
1	8
2	6
3	4
4	2
5	1
6	0
≥7	-5

**Parâmetro II (P2) - Expansão**

Expansão (em polegadas)		Pontos
0	0,355	0
0,356	0,384	1
0,385	0,414	2
0,415	0,444	3
0,445	0,474	4
0,475	0,504	5
0,505	0,534	6
0,535	0,564	7
0,565	0,595	8
0,595	0,624	9
0,625	∞	10



**Parâmetro III (P3) - Retenção de massa**

	<b>Retenção de massa (%)</b>	<b>Pontos</b>
0	79,9	0
80	81,9	1
82	83,9	2
84	85,9	3
86	87,9	4
88	89,9	5
90	91,9	6
92	93,9	7
94	95,9	8
96	97,9	9
98	100	10

Fonte: Brass Fetcher Ballistic Testing (todas).

**5.7 MÉTODOS****5.7.1 Local dos ensaios**

Todo o manuseio e disparos com armas de fogo foram realizados no estande de tiro do Centro de Detenção Provisória (CDP) de Pontal/SP, que dispõe de condições de segurança para a realização dos ensaios, com anteparo apropriado para a contenção dos projéteis.

Os presentes eram instruídos a utilizarem os equipamentos de proteção

individual necessários às atividades com armas de fogo, como óculos e abafador de ruídos.

Todos os disparos foram realizados pelo signatário, instrutor de armamento e tiro há mais de dez anos e credenciado na Polícia Federal (Portarias 356/2018 e 1245/2023), com observância estrita das normas de segurança atinentes ao uso de armas de fogo.

Figura 11 - Detalhe do anteparo de madeira do estande utilizado para os ensaios.



Fonte: do autor.

### 5.7.2 Configuração experimental

Após a fabricação, os blocos foram embrulhados com plástico-bolha mantidos em geladeira a uma temperatura média de 4°C, com tempo mínimo de cura de 72 h. Para a realização dos ensaios, os blocos foram transportados até o estande de tiro em caixas de isopor com cobertura de gelo.

A temperatura do bloco foi aferida antes da realização dos disparos, com o auxílio de um termômetro culinário. Em seguida, a calibração da consistência de todos os blocos foi verificada com os disparos de esferas de aço com a carabina de ar comprimido, conforme parâmetros de aceitação expostos no item 5.3, supra.

As variáveis climáticas, como umidade relativa do ar e temperatura ambiente também restaram registradas durante todos os ensaios, com dados oriundos de um termo-higrômetro digital.

O planejamento das cinco etapas foi estabelecido na seguinte sequência:

Quadro 3: etapas da pesquisa

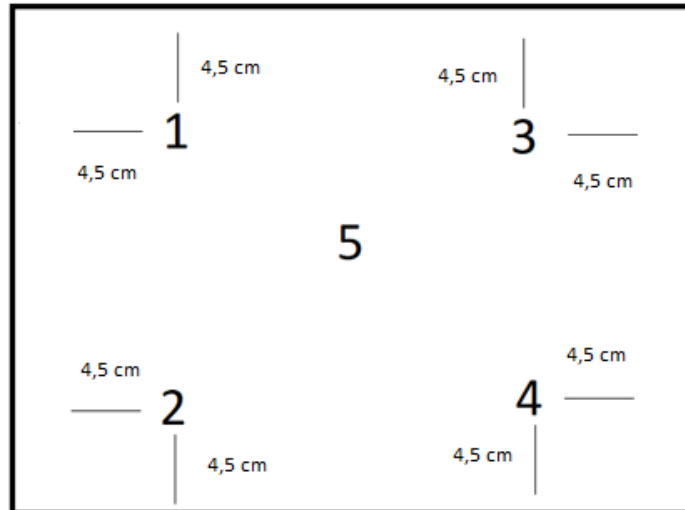
Ensaio 1	Gelatina nua
Ensaio 2	Tecido pesado
Ensaio 3	Madeira
Ensaio 4	Chapas de aço
Ensaio 5	Vidro automotivo

Fonte: do autor.

Conforme previsto pelo FBI, os disparos foram efetuados à distância de 3 m pelo subscritor. Para todos os ensaios, os cinco tiros foram realizados no mesmo bloco de gelatina, em configuração tal que não houvesse sobreposição das cavidades permanentes de cada projétil, procedimento corroborado por Jussila (2004) e Martini (2023).

Ressalte-se que o próprio Protocolo original já previa a possibilidade dos cinco disparos num mesmo bloco de gelatina, conforme a configuração demonstrada pela Figura 13.

Figura 12 - Diagrama representando a ordem de impacto dos cinco disparos.



Fonte: do autor

Em virtude da ocorrência possível de transfixação do primeiro bloco, um segundo bloco (*backstop*) foi sempre justaposto, perfazendo um comprimento total de gelatina balística de 32" (81,3 cm).

Figura 13 - Blocos justapostos com barreira de tecido pesado.



Fonte: do autor.

Para que os projéteis penetrassem a gelatina em ângulo de 90° em relação ao bloco, o atirador tomava posição ajoelhado, para que permanecesse na mesma altura da mesa usada como suporte para o meio simulante.

Figura 14 - posição de realização dos disparos.



Fonte: do autor.

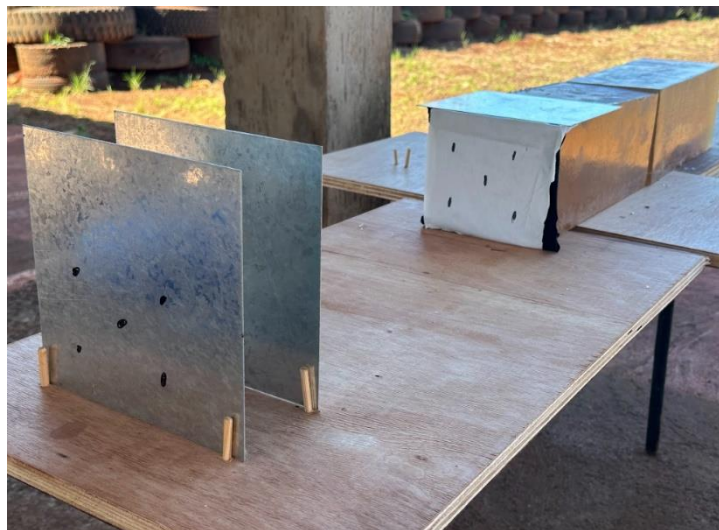
Nas etapas 3 (madeira) e 4 (chapas de aço) as barreiras foram presas em uma chapa de compensado de madeira, através de cavilhas. Para evitar que o vento deslocasse o tecido leve, uma chapa de aço foi colocada em cima do bloco de gelatina nas etapas 3, 4 e 5.

Figura 15 - configuração para coleta amostral do E3.



Fonte: do autor.

Figura 16 - configuração para coleta amostral do E4.



Fonte: do autor

Para realização da etapa 5 (vidro automotivo), foi construído um suporte em madeira de modo a permitir que as barreiras permanecessem nas angulações estipuladas pelo Protocolo do FBI.



Figura 17 - Configuração do ensaio com vidro automotivo.



Fonte: do autor.

Realizados os tiros previstos, cada bloco era novamente envolto em plástico-bolha, etiquetado e guardado na caixa de isopor.

Com a finalização das séries de disparos, os blocos foram levados ao laboratório, onde restaram tomadas as medidas de penetração de cada projétil, bem como aferidas sua expansão e massa final, com registro dos dados em planilha do Microsoft Excel™ (versão 2401). Para uma média válida, estipulou-se que ao menos três projéteis deveriam ser retidos pela gelatina, tendo em vista que algumas ogivas desviaram de sua trajetória inicial e saíram do bloco após guinarem.

Os registros fotográficos das duas primeiras etapas foram realizados com um telefone celular Apple Iphone™ 7 e as demais em um Apple Iphone™ 14. As correções necessárias para uma melhor visualização dos resultados foram realizadas no software Adobe Photoshop™, versão 23.5.

Para fins de tabulação, os dados iniciais de massa do projétil foram retirados do site do fabricante<sup>18</sup>, enquanto o diâmetro inicial restou consultado da norma SAAMI 299.3/2015<sup>19</sup>.

A aferição da profundidade de penetração foi realizada com uma trena

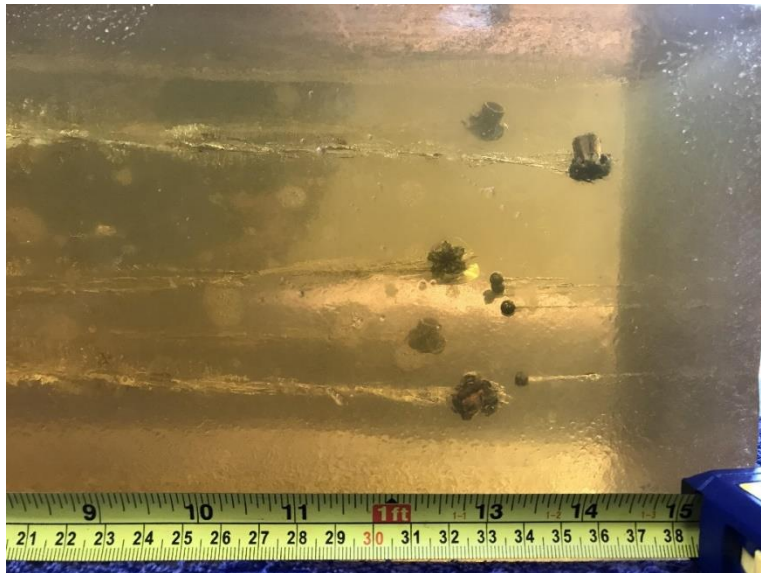
---

<sup>18</sup>< cbc.com.br>.

<sup>19</sup> Disponível *online* em <<https://saami.org/technical-information/ansi-saami-standards>> Acesso em 20/07/2022.

milimetrada (marcas Irwin® e Tramontina®), conforme figura 19, enquanto a expansão era medida com o auxílio de um paquímetro digital (marca MTX®), tomada entre as extremidades mais distantes de cada projétil.

Figura 18 - medição da profundidade de penetração em laboratório.



Fonte: do autor.

As tomadas de massa dos projéteis foram realizadas com a balança digital disponível no próprio laboratório, marca Bioprecisa, com arredondamento para a primeira casa decimal. Em caso de fragmentação, foi aferida a massa residual da maior porção da ogiva restante, sendo desprezados os pedaços menores.

Com a retirada dos projéteis, os blocos foram então fatiados em pedaços menores para facilitar o processo de derretimento e reaproveitamento da matéria-prima. Para o presente estudo, os blocos primários foram de primeiro ou, no máximo, de segundo reaproveitamento. Os blocos feitos com gelatina reutilizada mais de duas vezes eram empregados como *backstop*, em razão de sua menor translucidez.

Registre-se que, durante a tabulação dos resultados dos ensaios, percebeu-se a existência de alguns dados aberrantes de massa final de alguns dos projéteis de ponta oca, principalmente aqueles que sofreram fragmentação, mas acusavam uma maior medição de balança em comparação com sua massa inicial (estabelecida pelo fabricante).



Dessa feita, foi observado que na maioria dos projéteis expansivos havia aderência de gelatina nas “pétalas” formadas após o impacto com o bloco do simulante, o que, logicamente, aumentava a massa total do objeto. Com o passar do tempo, a gelatina se solidificou em uma espécie de hidrocolóide irreversível (similar ao alginato utilizado em moldagem odontológica), demandando sua extração física.

Diante da constatação, todos os projéteis empregados nas etapas 1 e 2 do protocolo de ensaios foram submetidos a imersão em água quente por cerca de 30 s e, logo em seguida, cuidadosamente analisados e submetidos à retirada de qualquer vestígio de gelatina balística, com emprego de uma sonda odontológica nº 5.

Figura 19 - Detalhe da repesagem de um projétil Copper Bullet Tactical em .40 S&W.



Fonte: do autor.

Realizado esse procedimento, os projéteis tiveram suas massas medidas novamente e, dessa vez, não houve resultados aberrantes. Assim, o procedimento foi repetido nas etapas posteriores e se mostrou mais eficiente e simples se realizado logo após a retirada dos projéteis da gelatina, antes da solidificação dos resíduos.

Em face dos altos custos envolvidos no processo de pesquisa, optou-se por realizar todas as cinco etapas do Protocolo apenas com as munições que

apresentaram um resultado minimamente satisfatório nos dois primeiros ensaios (gelatina nua e tecido pesado). Assim, os cartuchos .380 ACP Gold Hex, .40 S&W Gold Hex e Copper Bullet Tactical e .45 ACP Gold Hex não prosseguiram para as etapas de barreiras pesadas (hard barriers), em face de seu desempenho abaixo dos padrões mínimos esperados (em especial, penetração média abaixo de 12”).

Nada obstante, como o calibre 9 x 19 mm é hoje prevalente nas forças de segurança pública do Brasil, sendo o mais relevante calibre de baixa velocidade da atualidade, todos os tipos de cartuchos deste calibre específico foram ensaiados na totalidade do Protocolo, por sua extrema relevância.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DE BOCA DE CANO, CÁLCULO DA ENERGIA CINÉTICA E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Previamente ao início dos ensaios de balística terminal, foi aferida a velocidade média na boca do cano de cada tipo de munição, com a utilização de um cronógrafo Competition Eletronics ProChrono™ Digital. Para cada cartucho foram efetuados cinco disparos, sendo o resultado a média simples das velocidades aferidas.

Tabela 4 - Velocidade de boca de cano dos projéteis, com arredondamento para o número inteiro.

Calibre	Munição	Velocidade média (fps)	Velocidade média (m/s)	Velocidade esperada segundo o fabricante (m/s)
.38 SPL	Gold Hex +P+, 125 gr	1083	325	310
.380 ACP	ETOG +P 95 gr	949	285	312
.380 ACP	Gold Hex +P, 85 gr	990	297	323
9 x 19 mm	ETOG 124 gr	1136	341	338
9 x 19 mm	Gold Hex +P+, 115 gr	1237	371	405
9 x 19 mm	Copper Bullet Tactical +P+ 92,6 gr	1394	418	435
9 x 19 mm	Bonded +P 147 gr	984	295	320
9 x 19 mm	Federal HST	959	292	305
.40 S&W	ETPP 180 gr	922	277	302
.40 S&W	Gold Hex, 155 gr	1171	351	367
.40 S&W	Copper Bullet 130 gr	1187	356	390
.45 ACP	ETOG 230 gr	770	231	255
.45 ACP	Gold Hex +P, 185 gr	1120	336	350
.45 ACP	Copper Bullet Tactical 165 gr	1161	348	350

Fonte: do autor.

Com os dados conhecidos de massa e velocidade da boca do cano, temos os seguintes resultados quanto à Energia Cinética, aplicando a fórmula ( $EC = \frac{m.v^2}{2}$ ):

Tabela 5 - Resultados do cálculo de Energia Cinética, em Joules.

Calibre	Munição	Energia Cinética (J)
.38 SPL	Gold Hex +P+, 125 gr	428
.380 ACP	ETOG +P 95 gr	252
.380 ACP	Gold Hex +P, 85 gr	287
9 x 19 mm	ETOG 124 gr	465
9 x 19 mm	Gold Hex +P+, 115 gr	516
9 x 19 mm	Copper Bullet Tactical +P+ 92,6 gr	524
9 x 19 mm	Bonded +P 147 gr	414
9 x 19 mm	Federal HST	406
.40 S&W	ETPP 180 gr	447
.40 S&W	Gold Hex, 155 gr	618
.40 S&W	Copper Bullet 130 gr	575
.45 ACP	ETOG 230 gr	397
.45 ACP	Gold Hex +P, 185 gr	676
.45 ACP	Copper Bullet Tactical 165 gr	647

Fonte: do autor.

Ainda, pode-se analisar os dados referentes à quantidade de movimento (momento linear, de símbolo  $Q$ ) de cada projétil, através da fórmula matemática ( $Q =$

*m. v*):

Tabela 6 - Resultados do cálculo da quantidade de movimento, em kg.m/s.

<b>Calibre</b>	<b>Munição</b>	<b>Quantidade de movimento (kg.m/s)</b>
.38 SPL	Gold Hex +P+, 125 gr	2,6
.380 ACP	ETOG +P 95 gr	1,7
.380 ACP	Gold Hex +P, 85 gr	1,6
9 x 19 mm	ETOG 124 gr	2,7
9 x 19 mm	Gold Hex +P+, 115 gr	2,7
9 x 19 mm	Copper Bullet Tactical +P+ 92,6 gr	2,5
9 x 19 mm	Bonded +P 147 gr	2,8
.40 S&W	ETPP 180 gr	3,2
.40 S&W	Gold Hex, 155 gr	3,5
.40 S&W	Copper Bullet 130 gr	3,2
.45 ACP	ETOG 230 gr	3,4
.45 ACP	Gold Hex +P, 185 gr	4,0
.45 ACP	Copper Bullet Tactical 165 gr	3,7

Fonte: do autor.

## 6.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE GELATINA NUA

O comportamento balístico de cada projétil no ensaio de gelatina nua serve como *base line* de comparação com aqueles obtidos nas demais etapas do Protocolo, com utilização das variadas barreiras intermediárias. Assim, se determinado tipo de munição não obtém resultados satisfatórios nesse primeiro ensaio, sem qualquer obstáculo, é possível inferir que seu desempenho ao longo dos demais degraus do Protocolo seja insatisfatório.

Os resultados obtidos no ensaio de gelatina nua foram os seguintes:

Tabela 7 - resultados dos ensaios com gelatina nua, divididos por tipo de munição.

### Calibre .38 SPL

Tipo	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gold Hex	JHP	9,1	125	13,1	50,9	83,5

### Calibre .380 ACP

Tipo	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Ogival	FMJ	9,0	95	19,4	0	100
Gold Hex	JHP	9,0	85	9,0	80,4	98,9

**Calibre 9 x 19 mm**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	124	20,1	0	100
Gold Hex	JHP	9,0	115	9,5	66,3	64,9
Copper B	SCHP	9,0	93,6	11,1	89,7	100
Bonded	JHP	9,0	147	13,5	61,3	100
HST	JHP	9,0	147	12,2	120,6	100

**Calibre .40 S&W**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ponta plana	FMJ - FN	10,2	180	23,9	0	100
Gold Hex	JHP	10,2	155	7,2	100	90,0
Copper B	SCHP	10,2	135	11,8	62,6	100



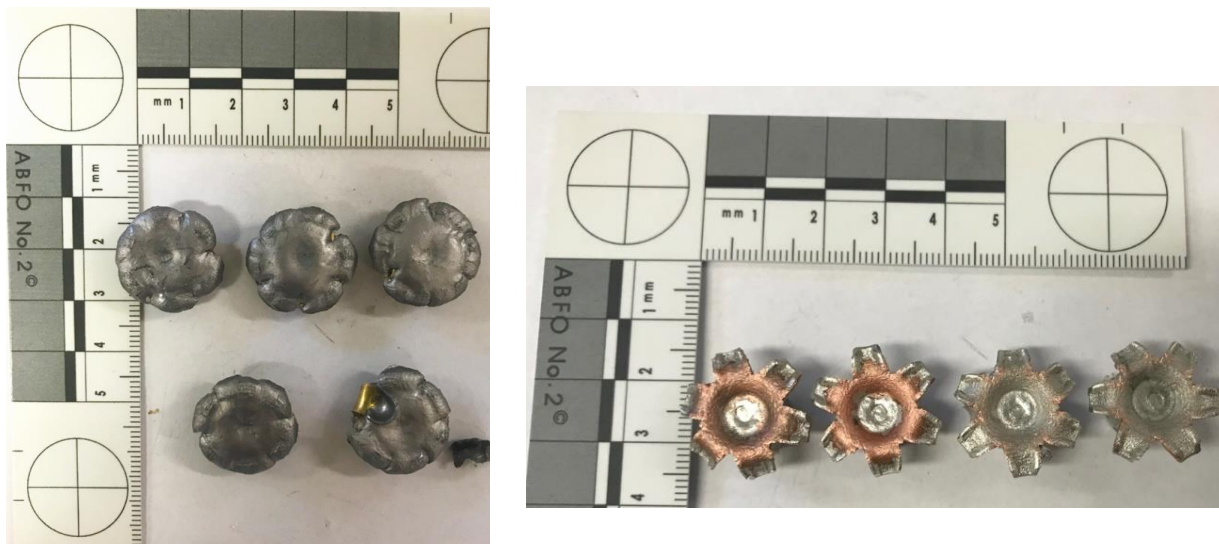
## Calibre .45 ACP

Tipo	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Ogival	FMJ	11,5	230	21,9	0	100
Gold Hex	JHP	11,5	155	8,7	90,8	93,0
Copper B	SCHP	11,5	135	11,4	72	100

Fonte: do autor (todas).

Nesse ensaio, as munições de ponta oca apresentaram, no geral, expansão bastante expressiva à falta de barreiras intermediárias (fig 21).

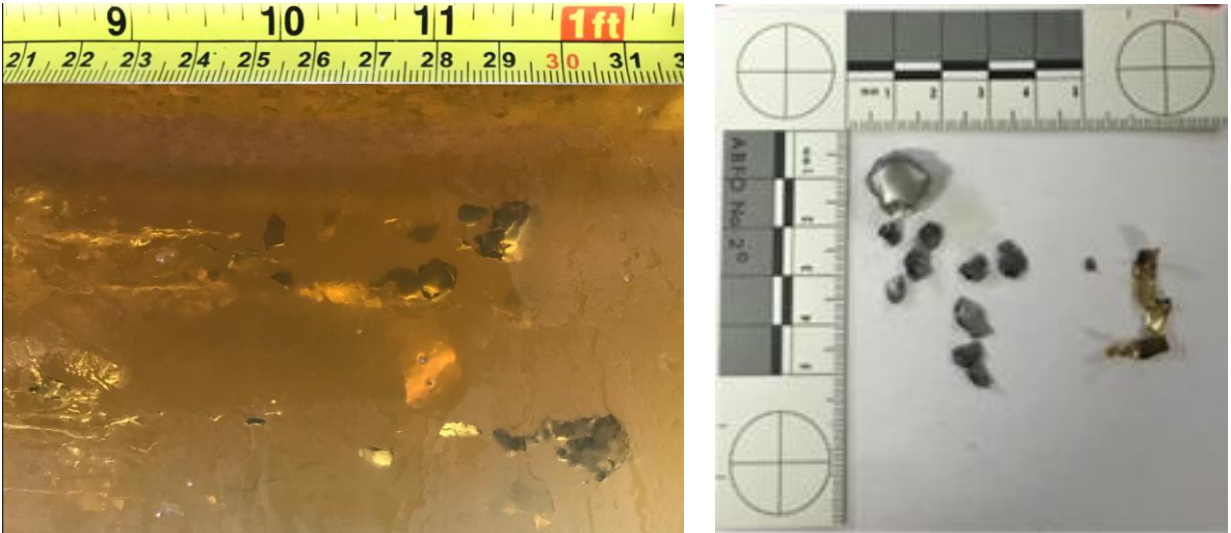
Figura 20 - Projéteis .45 ACP Gold Hex (e) e Copper Bullet Tactical (d), após o E1.



Fonte: do autor.

Especialmente no calibre 9 x 19 mm, a munição Gold Hex apresentou forte tendência à fragmentação, perdendo uma parte significativa de massa mesmo quando disparada contra a gelatina nua (fig 22).

Figura 21 - Projéteis Gold Hex, calibre 9 x 19 mm demonstrando massiva fragmentação, na gelatina balística (e) e pós-extração (d).



Fonte: do autor

Em outro passo, as munições ETOG/ETPP não sofreram praticamente nenhuma deformação, mantendo rigorosamente sua forma original tal qual era na saída do cano, com a clara exceção das marcas do raiamento ao longo de sua superfície de contato com o interior do cano (*bearing surfaces*), como visto na fig. 23.

Figura 22 - Projéteis ETPP em .40 S&W após o impacto com gelatina nua, demonstrando a manutenção de seu formato original e ausência total de expansão.



Fonte: do autor.

### 6.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE TECIDO PESADO

A barreira de tecido pesado simula o contato do projétil com roupas de frio, o que pode ter um efeito de entupimento da ponta oca (*hollow point clogging*), impedindo a expansão da ogiva.

Apesar de ainda ser considerada uma barreira leve (*soft barrier*), o ensaio se traduz de grande importância especialmente para o trabalho policial nas regiões mais ao sul do Brasil ou em áreas de montanha/serra, em que a possibilidade de enfrentamento com um suspeito trajando roupas pesadas se mostra mais alta.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios com barreira de tecido pesado (*heavy clothing*).

#### Calibre .38 SPL

Tipo	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gold Hex	JHP	9,1	125	12,1	62,9	92,3

#### Calibre .380 ACP

Tipo	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Ogival	FMJ	9,0	95	17,4	0	100
Gold Hex	JHP	9,0	85	7,2	66,7	100

**Calibre 9 x 19 mm**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	124	20,2	0	100
Gold Hex	JHP	9,0	115	12,0	47,1	70
Copper B	SCHP	9,0	93,6	11,0	87,1	100
Bonded	JHP	9,0	147	15,6	59,1	100
HST	JHP	9,0	147	13,0	92,4	100

**Calibre .40 S&W**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ponta plana	FMJ - FN	10,2	180	24,8	0	100
Gold Hex	JHP	10,2	155	9,9	74,5	100
Copper B	SCHP	10,2	135	11,2	70,7	100

**Calibre .45 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	11,5	230	24,0	0	100
Gold Hex	JHP	11,5	185	10,4	74,3	100
Copper B	SCHP	11,5	165	10,8	75,0	100

Fonte: do autor (todas).

Figura 23 - Vista frontal da parte oposta à entrada dos projéteis 9 x 19 mm Bonded 147 gr, demonstrando que os projéteis, de maneira notadamente uniforme, quase transpassaram o primeiro bloco de gelatina (de 16") no E2.



Fonte: do autor.

#### 6.4 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE MADEIRA

A barreira de madeira tem por objetivo simular o tiro através da porta de uma residência. Tal qual a etapa de tecido pesado, a madeira tem grande potencial para o entupimento da ponta oca, impedindo a adequada expansão do projétil, como demonstrado a seguir.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios com barreira de madeira.

**Calibre .38 SPL**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Gold Hex	JHP	9,1	125	14,6	3,2	100

**Calibre .380 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	95	18,4	0	100

**Calibre 9 x 19 mm**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	124	19,9	3,1	100
Gold Hex	JHP	9,0	115	10,8	95,3	86,5
Copper B	SCHP	9,0	93,6	10,2	49,6	100
Bonded	JHP	9,0	147	14,6	29,3	100
HST	JHP	9,0	147	14,1	79,0	100

**Calibre .40 S&W**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ponta plana	FMJ - FN	10,2	180	26,4	0	100

**Calibre .45 ACP**

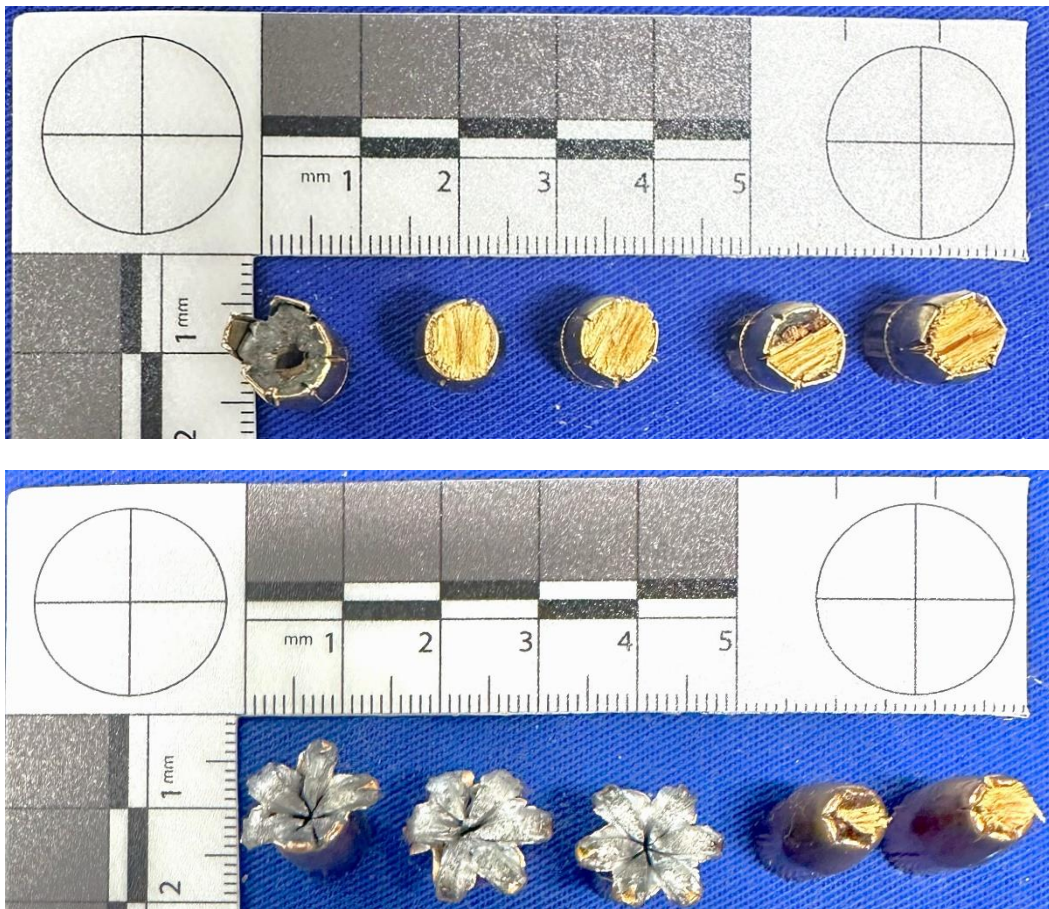
<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	11,5	230	23,6	0	100

Fonte: do autor (todas).

Nessa etapa, chamou a atenção o comportamento das munições .38 SPL Gold Hex e 9 x 19 mm Bonded, com o evidente entupimento da ponta oca pela madeira:



Figura 24 - Detalhe dos projéteis que sofreram entupimento pela barreira de madeira, Gold Hex (superior) e Bonded (inferior).



Fonte: do autor

## 6.5 DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA DE METAL

Com o trágico confronto de abril de 1986, em que os suspeitos utilizaram seu veículo como barricada, especial atenção deve ser dada a essa etapa, criada justamente para recriar em condições de laboratório uma barreira de porta de automóvel.



Tabela 10 - Resultados dos ensaios com barreira de metal.

**Calibre .38 SPL**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Gold Hex	JHP	9,1	125	11,7	40,6	97,5

**Calibre .380 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	95	10,5	19,2	100

**Calibre 9 x 19 mm**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	124	20,2	18,6	95,0
Gold Hex	JHP	9,0	115	14,4	34,2	100
Copper B	SCHP	9,0	93,6	17,9	5,8	100
Bonded	JHP	9,0	147	20,0	22,2	100
HST	JHP	9,0	147	17,0	25,0	100

**Calibre .40 S&W**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ponta plana	FMJ - FN	10,2	180	17,5	16,7	100

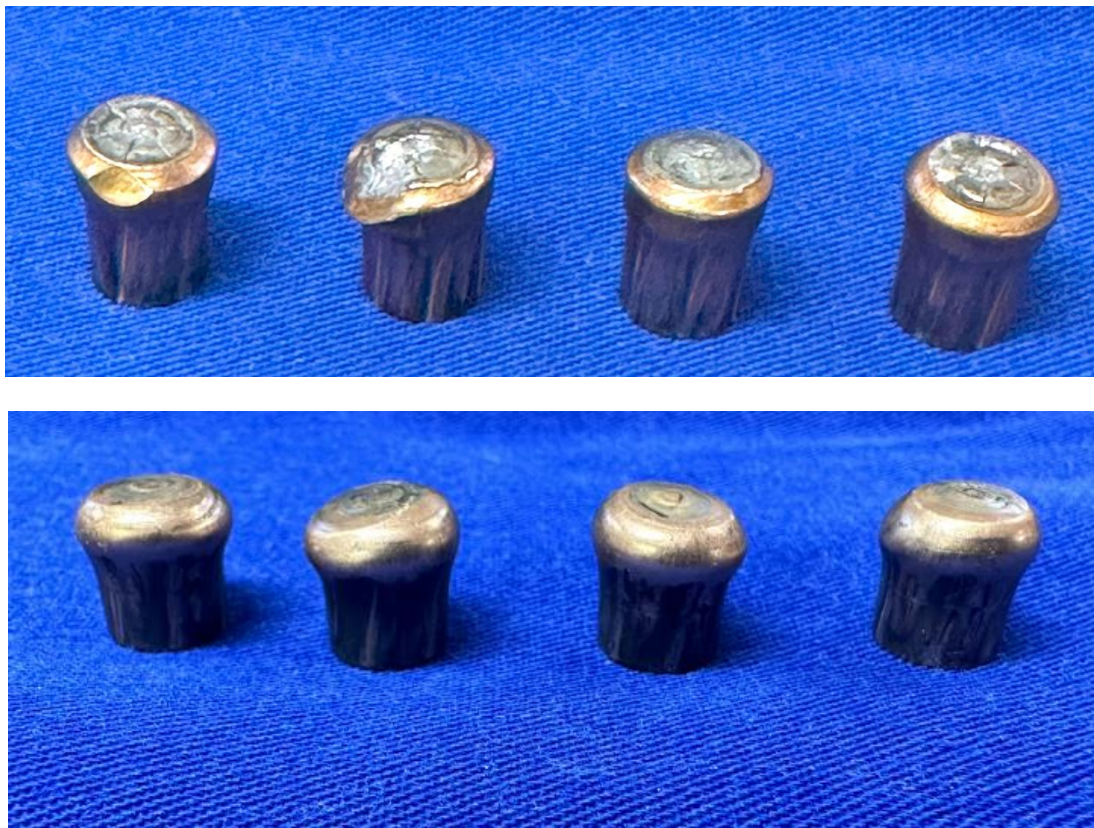
**Calibre .45 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	11,5	230	17,6	6,1	100

Fonte: do autor (todas).

Observou-se claramente que a tendência de praticamente todos os projéteis era sofrer amassamento ao transpor as chapas de aço, impedindo a expansão das munições de ponta oca. É dizer, nessa etapa houve uma maior similaridade no comportamento balístico terminal das munições ogivais e de ponta oca, bem como entre os diferentes calibres nominais testados, em face da grande resistência física à deformação (*strain resistance*) da barreira. Devido ao amassamento e ausência de expansão, os projéteis de ponta oca apresentaram tendência de maior penetração.

Figura 25 -. Detalhe dos projéteis 9 x 19 mm, Bonded (superior), e .45 ACP, ETOG (inferior), no E4, demonstrando similitude de comportamento.



Fonte: do autor.

## 6.6 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM BARREIRA VIDRO AUTOMOTIVO

A barreira de vidro automotivo se demonstrou como a mais desafiadora aos projéteis entre todas as etapas. Em razão da sua composição de camadas de vidro, intercaladas com PVB (polivinil butirado, um tipo de polímero), como explicado por Silvino Junior (2021), o vidro laminado se constituiu em um barreira tão difícil para os projéteis que até mesmo aqueles que vinham apresentando um bom desempenho nos demais ensaios (como a CBC Bonded 147 gr e a Federal HST, ambas em 9 x 19 mm), não conseguiram atingir o índice mínimo de penetração de 12" na gelatina balística.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios com barreira de vidro automotivo.

**Calibre .38 SPL**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Gold Hex	JHP	9,1	125	10,4	49,5	72,3

**Calibre .380 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	95	8,7	35,6	80,7

**Calibre 9 x 19 mm**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	9,0	124	12,3	44,5	76,7
Gold Hex	JHP	9,0	115	10,9	50,8	67,3
Copper B	SCHP	9,0	93,6	11,9	26,6	100
Bonded	JHP	9,0	147	10,3	81,1	93,8
HST	JHP	9,0	147	10,5	99,6	95,7

**Calibre .40 S&W**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ponta plana	FMJ - FN	10,2	180	14,6	31,1	77,6

**Calibre .45 ACP**

<b>Tipo</b>	<b>Projétil</b>	<b>Diâmetro inicial (mm)</b>	<b>Massa inicial (gr)</b>	<b>Penetração Média (pol)</b>	<b>Expansão média (%)</b>	<b>Retenção de massa (%)</b>
Ogival	FMJ	11,5	230	15,0	31,7	95,8

Fonte: do autor (todas)

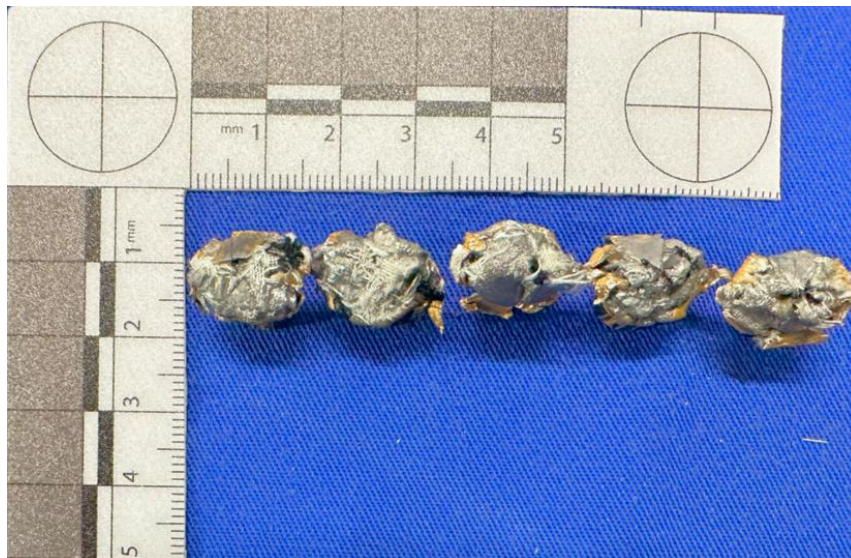
Nesse ensaio, as pontas ogivais ou planas tenderam a sofrer separação jaqueta/núcleo, com perda de massa (fig. 27), ocorrendo vários casos em que a camisa sequer conseguiu penetrar no bloco de gelatina. As munições de ponta oca apresentaram intenso amassamento, com alteração da forma inicialmente ogival para um padrão oval (fig. 28), com níveis diferentes de perda de massa.

Figura 26 - Comportamento do projétil .40 S&W ETPP no E5, demonstrando a separação jaqueta/núcleo.



Fonte: do autor.

Figura 27 - Comportamento do cartucho Federal HST, 9 x 19 mm, no E5.



Fonte: do autor.

## 6.7 DOS RESULTADOS GERAIS DE CADA TIPO DE MUNIÇÃO

### 6.7.1 Calibre .38 SPL, CBC Gold Hex

Tabela 12 - Resultado geral da munição .38 SPL, CBC Gold Hex.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	9,1	125	13,1	50,9	83,5
Tecido pesado	JHP	9,1	125	12,1	62,9	92,3
Madeira	JHP	9,1	125	14,6	3,2	100
Chapas de aço	JHP	9,1	125	11,7	40,6	97,5
Vidro automotivo	JHP	9,1	125	10,4	49,5	72,3
			<b>Média</b>	12,4	41,4	89,2

Fonte: do autor.

### 6.7.2 Calibre .380 ACP, ETOG

Tabela 13 - Resultado geral da munição .380 ACP, CBC ETOG.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	FMJ	9,0	95	19,4	0	100
Tecido pesado	FMJ	9,0	95	17,4	0	100
Madeira	FMJ	9,0	95	18,4	0	100
Chapas de aço	FMJ	9,0	95	10,5	19,2	100
Vidro automotivo	FMJ	9,0	95	8,7	35,6	80,7
			<b>Média</b>	14,9	11	96,1

Fonte: do autor



### 6.7.3 Calibre .380 ACP, CBC Gold Hex.

Tabela 14 - Resultado geral da munição .380 ACP, CBC Gold Hex.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	9,0	85	6,8	80,4	98,9
Tecido pesado	JHP	9,0	85	7,2	66,7	100
			Média	7,0	73,5	99,5

Fonte: do autor.

#### 6.7.4 Calibre 9 x 19 mm, ETOG

Tabela 15 - Resultado geral da munição 9 x 19 mm, CBC ETOG 124 gr.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	FMJ	9,0	124	20,1	0	100
Tecido Pesado	FMJ	9,0	124	20,2	0	100
Madeira	FMJ	9,0	124	19,9	3,1	100
Chapas de aço	FMJ	9,0	124	20,2	18,6	95
Vidro automotivo	FMJ	9,0	124	12,3	44,5	76,7
			<b>Média</b>	18,5	13,2	94,3

Fonte: do autor

### 6.7.5 Calibre 9 x 19 mm, CBC Gold Hex 115 gr

Tabela 16 - Resultado geral da munição 9 x 19 mm, CBC Gold Hex 115 gr.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	9,0	115	9,5	66,3	64,9
Tecido Pesado	JHP	9,0	115	12,0	47,1	70,3
Madeira	JHP	9,0	115	10,8	95,3	86,5
Chapas de aço	JHP	9,0	115	14,4	34,2	100
Vidro automotivo	JHP	9,0	115	10,9	50,8	67,3
			<b>Média</b>	11,5	58,7	79,8

Fonte: do autor.

### 6.7.6 Calibre 9 x 19 mm, Copper Bullet Tactical

Tabela 17 - Resultado geral da munição 9 x 19 mm, CBC Copper Bullet Tactical.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	SCHP	9,0	92,6	11,1	89,7	100
Tecido pesado	SCHP	9,0	92,6	11,0	87,1	100
Madeira	SCHP	9,0	92,6	10,2	49,6	100
Chapas de aço	SCHP	9,0	92,6	17,9	5,8	100
Vidro automotivo	SCHP	9,0	92,6	11,9	26,6	100
			<b>Média</b>	12,4	51,8	100

Fonte: do autor.

### 6.7.7 Calibre 9 x 19 mm, Bonded 147 gr.

Tabela 18 - Resultado geral da munição 9 x 19 mm, CBC Bonded 147 gr.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	9,0	147	13,5	61,3	100
Tecido Pesado	JHP	9,0	147	15,6	59,1	100
Madeira	JHP	9,0	147	14,6	29,3	100
Chapas de aço	JHP	9,0	147	20,0	22,2	100
Vidro automotivo	JHP	9,0	147	10,3	81,1	93,8
			Média	14,8	50,6	98,8

Fonte: do autor.

### 6.7.8 Calibre 9 x 19 mm, Federal HST 147 gr.

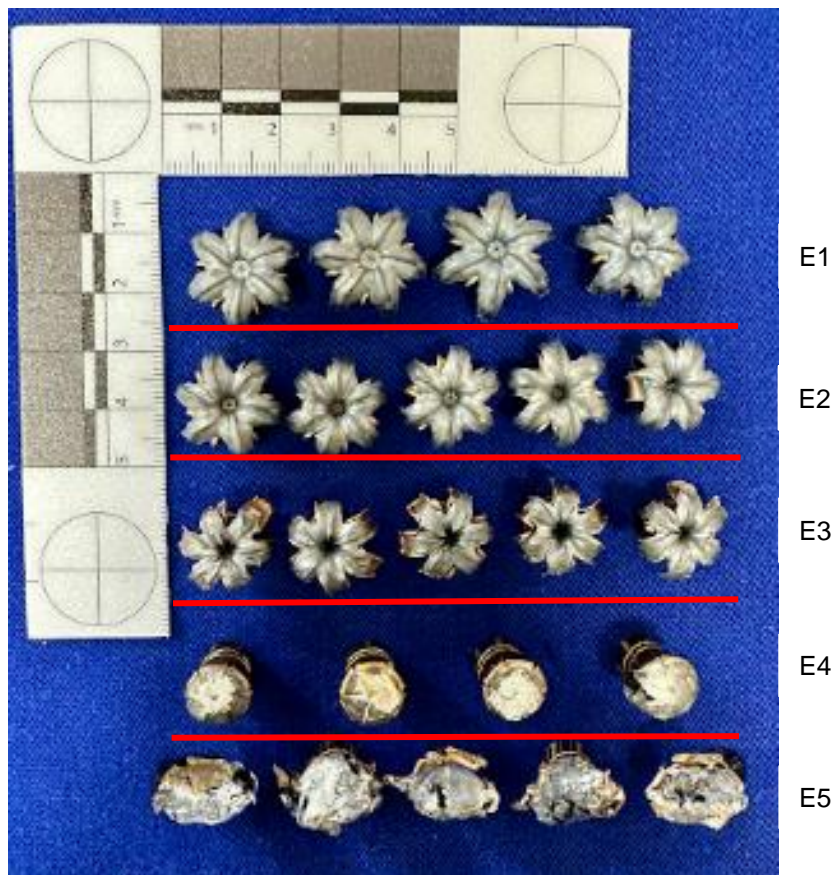
Tabela 19 - Resultado geral da munição 9 x 19 mm, Federal HST 147 gr.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	9,0	147	12,2	120,6	100
Tecido pesado	JHP	9,0	147	13,0	92,4	100
Madeira	JHP	9,0	147	14,1	79,0	100
Chapas de aço	JHP	9,0	147	17,0	25,0	100
Vidro automotivo	JHP	9,0	147	10,5	100	95,7
			Média	13,4	83,4	99,1

Fonte: do autor.

Os projéteis HST apresentaram similaridade de desempenho entre os ensaios E1-E3, sofrendo o achatamento típico da barreira de metal pesado (E4) e o amassamento após impacto no vidro automotivo (E5). Nota-se, em especial, a ausência de entupimento no E3, ainda com níveis de expansão expressivos com a barreira de madeira (média de 79%), com penetração de 14,1", o *sweet spot* do Protocolo do FBI.

Figura 28 - Quadro geral da munição Federal HST.



Fonte: do autor.

### 6.7.9 Calibre .40 S&W, ETPP

Tabela 20 - Resultado geral da munição .40 S&W, CBC ETPP.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	FMJ - FN	10,2	180	23,9	0	100
Tecido pesado	FMJ - FN	10,2	180	24,8	0	100
Madeira	FMJ - FN	10,2	180	26,4	0	100
Chapas de aço	FMJ - FN	10,2	180	17,5	16,7	100
Vidro automotivo	FMJ - FN	10,2	180	14,6	31,1	77,6
			<b>Média</b>	21,4	9,6	95,5

Fonte: do autor



### 6.7.10 Calibre .40 S&W, Gold Hex

Tabela 21 - Resultado geral da munição .40 S&W, CBC Gold Hex 155 gr.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	10,2	155	7,2	100	90
Tecido pesado	JHP	10,2	155	9,9	74,5	100
			<b>Média</b>	8,5	87,5	95

Fonte: do autor

### 6.7.11 Calibre .40 S&W, Copper Bullet Tactical

Tabela 22 - Resultado geral da munição .40 S&W, CBC Copper Bullet Tactical.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	10,2	155	11,8	62,6	100
Tecido pesado	JHP	10,2	155	11,2	70,7	100
			<b>Média</b>	11,5	66,6	100

Fonte: do autor

### 6.7.12 Calibre .45 ACP, ETOG

Tabela 23 - Resultado geral da munição .45 ACP, CBC ETOG.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	FMJ	11,5	230	21,9	0	100
Tecido pesado	FMJ	11,5	230	24,0	0	100
Madeira	FMJ	11,5	230	23,6	0	100
Chapas de aço	FMJ	11,5	230	17,6	6,1	100
Vidro automotivo	FMJ	11,5	230	15,0	31,7	95,8
			<b>Média</b>	20,4	7,6	99,2

Fonte: do autor

### 6.7.13 Calibre .45 ACP, Gold Hex

Tabela 24 - Resultado geral da munição .45 ACP, CBC Gold Hex.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	10,2	155	8,7	90,8	93
Tecido pesado	JHP	10,2	155	10,4	74,3	100
			<b>Média</b>	9,5	82,5	96,5

Fonte: do autor

### 6.7.14 Calibre .45 ACP, Copper Bullet Tactical

Tabela 25 - Resultado geral da munição .45 ACP, CBC Copper Bullet Tactical.

Ensaio	Projétil	Diâmetro inicial (mm)	Massa inicial (gr)	Penetração Média (pol)	Expansão média (%)	Retenção de massa (%)
Gelatina nua	JHP	10,2	155	11,4	72,0	100
Tecido pesado	JHP	10,2	155	10,8	75,0	100
			<b>Média</b>	11,1	73,5	100

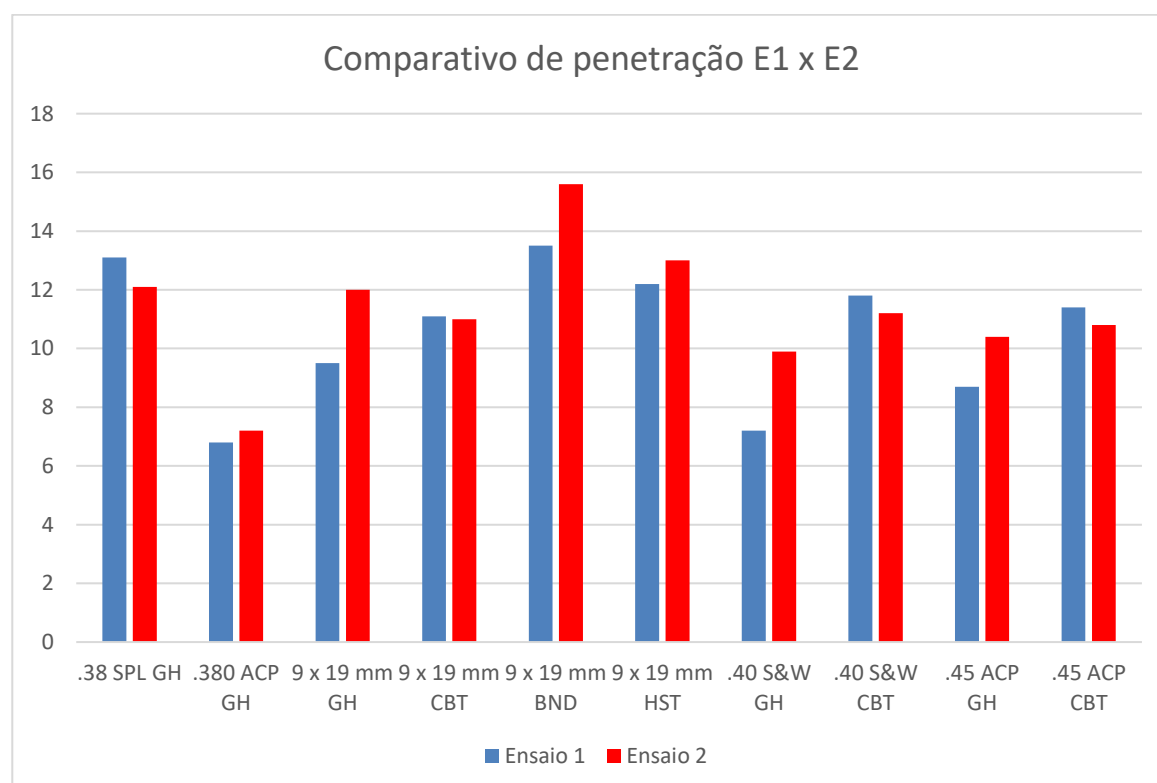
Fonte: do autor



## 6.8 ANÁLISES GRÁFICAS DOS RESULTADOS

Inicialmente, interessante analisarmos as diferenças de penetração entre o primeiro e o segundo ensaios para as munições expansivas, para fins da possível observação do fenômeno do entupimento da ponta oca pelo tecido pesado.

Figura 29 - Gráfico de barras verticais contendo os resultados comparativos entre as Etapas 1 (azul) e Etapa 2 (vermelho) do presente estudo.



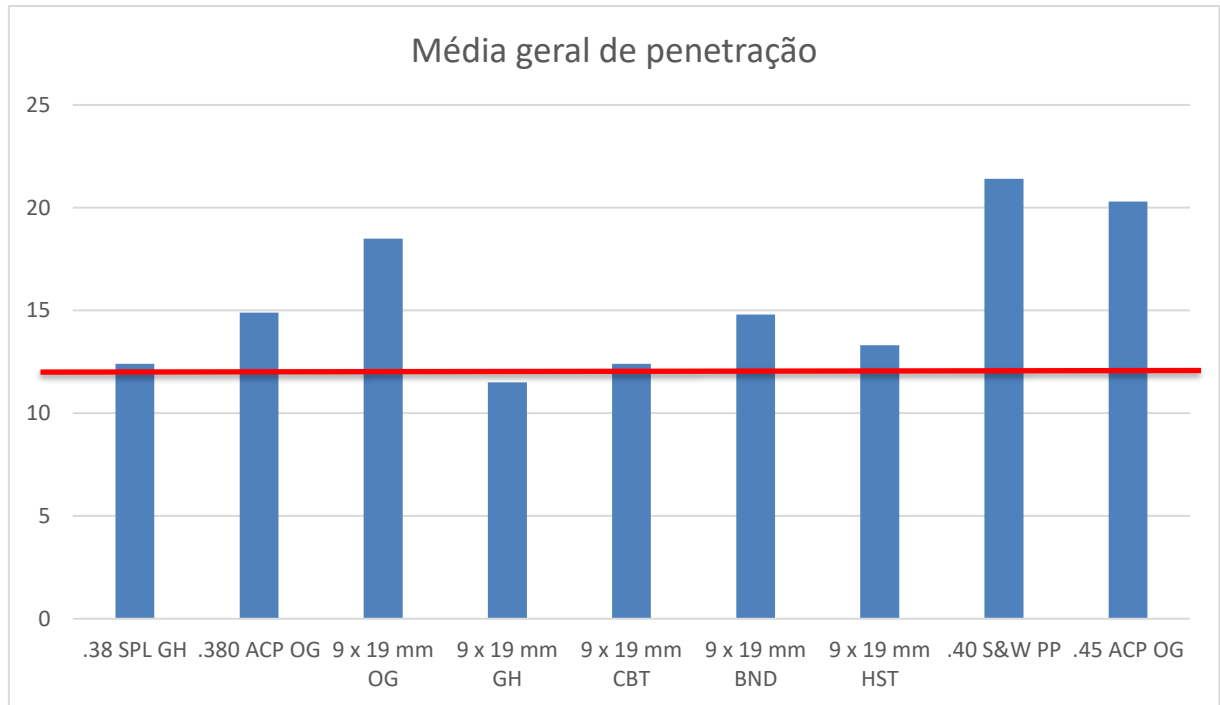
Legenda: GH (Gold Hex); CBT (Copper Bullet Tactical) e BND (BONDED).

Fonte: do autor.

Nota-se que as munições 9 x 19 mm Gold Hex, Bonded e HST, .40 S&W Gold Hex e .45 ACP Gold Hex penetraram mais no ensaio com o tecido pesado do que na gelatina nua. É possível inferir que a barreira impediu em alguma monta a expansão do projétil, possivelmente pelo entupimento parcial da ponta.

Vejamos os níveis de penetração das munições testadas durante a pesquisa, na média dos cinco ensaios, com todos os tipos de projéteis empregados na totalidade das barreiras.

Figura 30 - Gráfico de barras verticais representando a média de penetração das munições que foram submetidas aos cinco ensaios do estudo, com a linha de meta vertical marcada em vermelho.



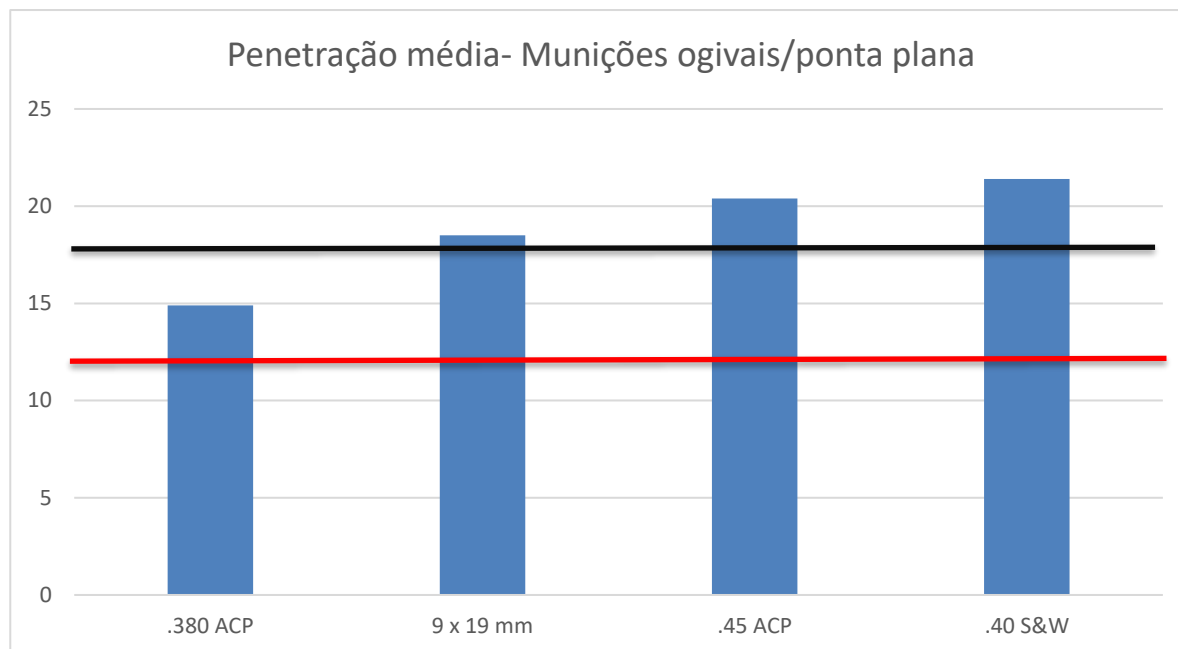
Legenda: GH (Gold Hex); OG (Ogival); PP (Ponta Plana); CBT (Copper Bullet Tactical) e BND (BONDED).

— requisito mínimo previsto no Protocolo do FBI (12”).

Fonte: do autor.

Levando-se em conta apenas as munições ogivais ou de ponta plana, é claramente identificável a tendência a uma penetração considerada excessiva pelo FBI (acima de 18”), dada a característica desses tipos de projéteis de não serem projetados para expandir.

Figura 31 - Gráfico de barras verticais representando a penetração de munições ogivais ou ponta plana com linhas de meta horizontais marcadas em 12" (mínimo) e 18" (máximo).

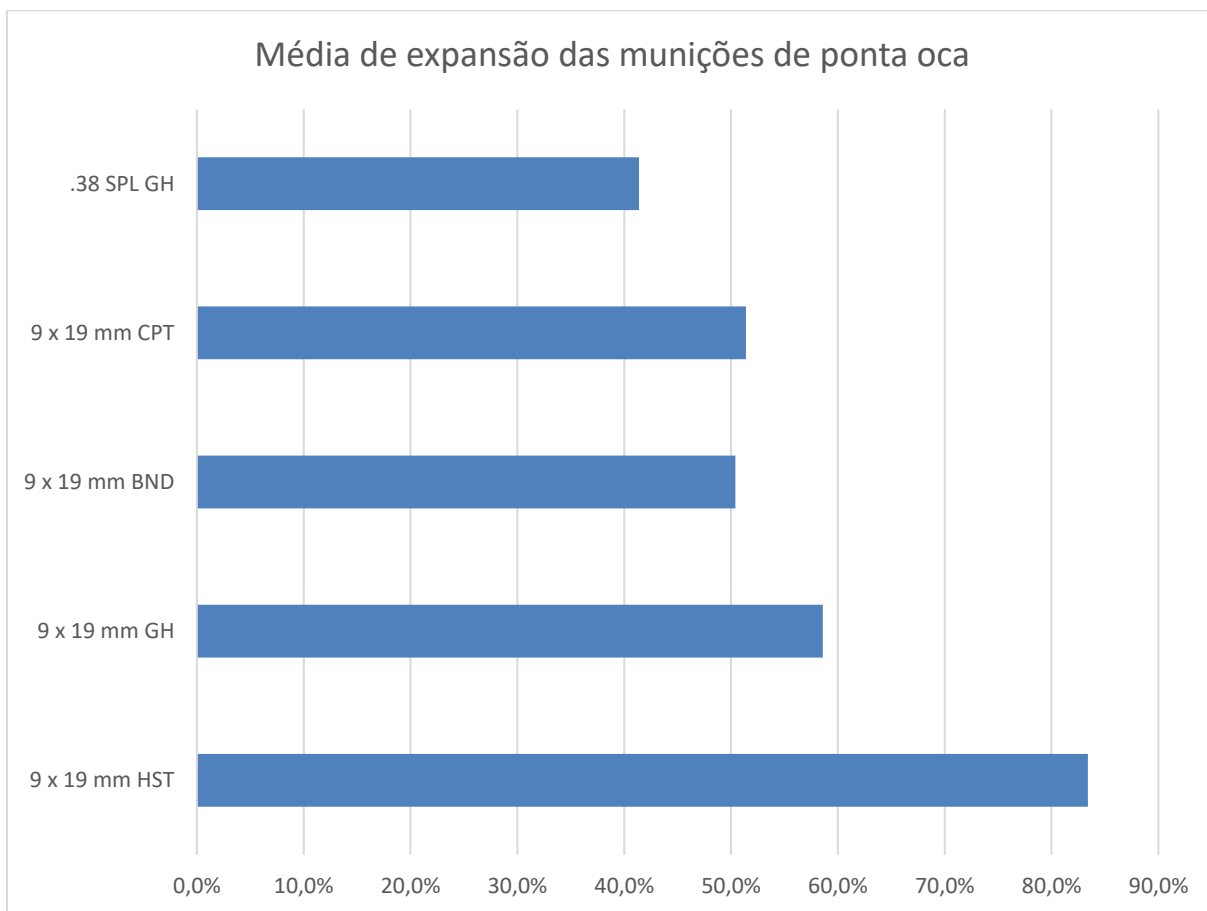


- requisito mínimo previsto no Protocolo do FBI (12").
- limite máximo desejável pelo Protocolo do FBI (18").

Fonte: do autor.

Já os projéteis de ponta oca, destinados a expandir em meio hidro-sólido, apresentaram os seguintes resultados de expansão nas cinco etapas da pesquisa, com a ressalva de que não há parâmetros de mínimo/máximo desejáveis, tal qual ocorre com a análise da penetração:

Figura 32 - Gráfico de barras horizontais representando a média de expansão de munições de ponta oca após cinco ensaios.



Legenda: GH (Gold Hex); CPT (Copper Tactical) e BND (Bonded).

Fonte: do autor.

## 6.9 CÁLCULO DA NOTA FINAL DAS MUNIÇÕES 9 X 19 MM

Sopesando-se todas as etapas realizadas durante o curso da pesquisa, as pontuações obtidas pelas munições em calibre 9 x 19 mm, conforme os critérios do Brass Batcher Ballistic Testing, citados no item 5.5<sup>20</sup>, são as seguintes:

<sup>20</sup>Fórmula: Penetração = (((pontuação de penetração \* desvio padrão da penetração) \* 0,5 + (pontuação de tiros abaixo de 12" \* 0,2)) \* 50).

Expansão = (pontuação expansão \* 0,2) \* 50.

Retenção de massa = (pontuação retenção de massa \* 0,1) \* 50.

Nota final = nota penetração + nota expansão + nota retenção de massa.



**ETOG 124 gr**

Penetração: 110 pontos

Desvio padrão: 3,3

Expansão: 20 pontos

Retenção de massa: 40 pontos

Total: 170 pontos

**Gold Hex 115 gr**

Penetração: -32,5 pontos

Desvio padrão: 1,8

Expansão: 70 pontos

Retenção de massa: 0 ponto

Total: 37,5 pontos

**Copper Bullet Tactical 93,6 gr**

Penetração: 50 pontos

Desvio padrão: 2,8

Expansão: 60 pontos

Retenção de massa: 50 pontos

Total: 160 pontos

**Bonded 147 gr**

Penetração: 120 pontos

Desvio padrão: 3,4

Expansão: 60 pontos

Retenção de massa: 50 pontos

Total: 230 pontos

### **Federal HST 147 gr**

Penetração: 130 pontos

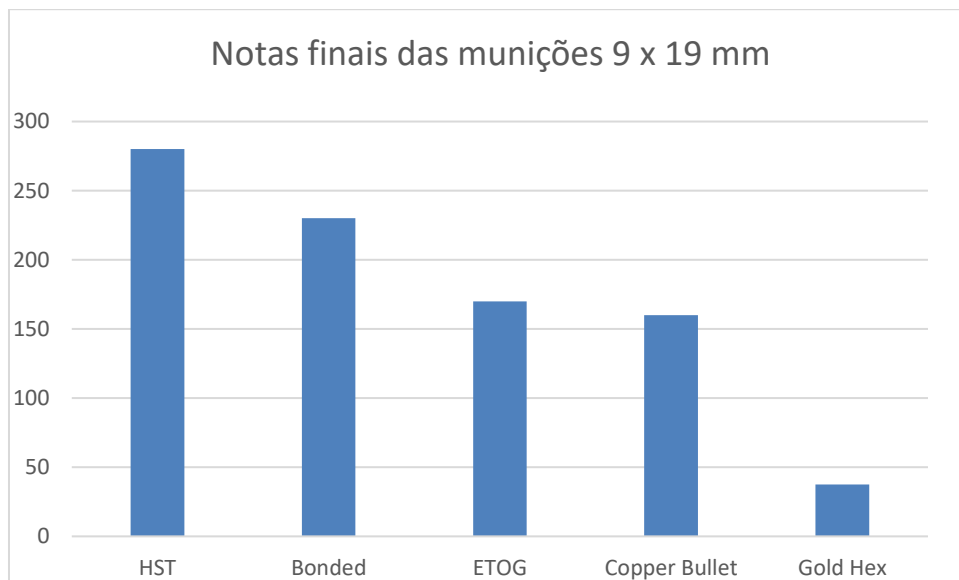
Desvio padrão: 2,4

Expansão: 100 pontos

Retenção de massa: 50 pontos

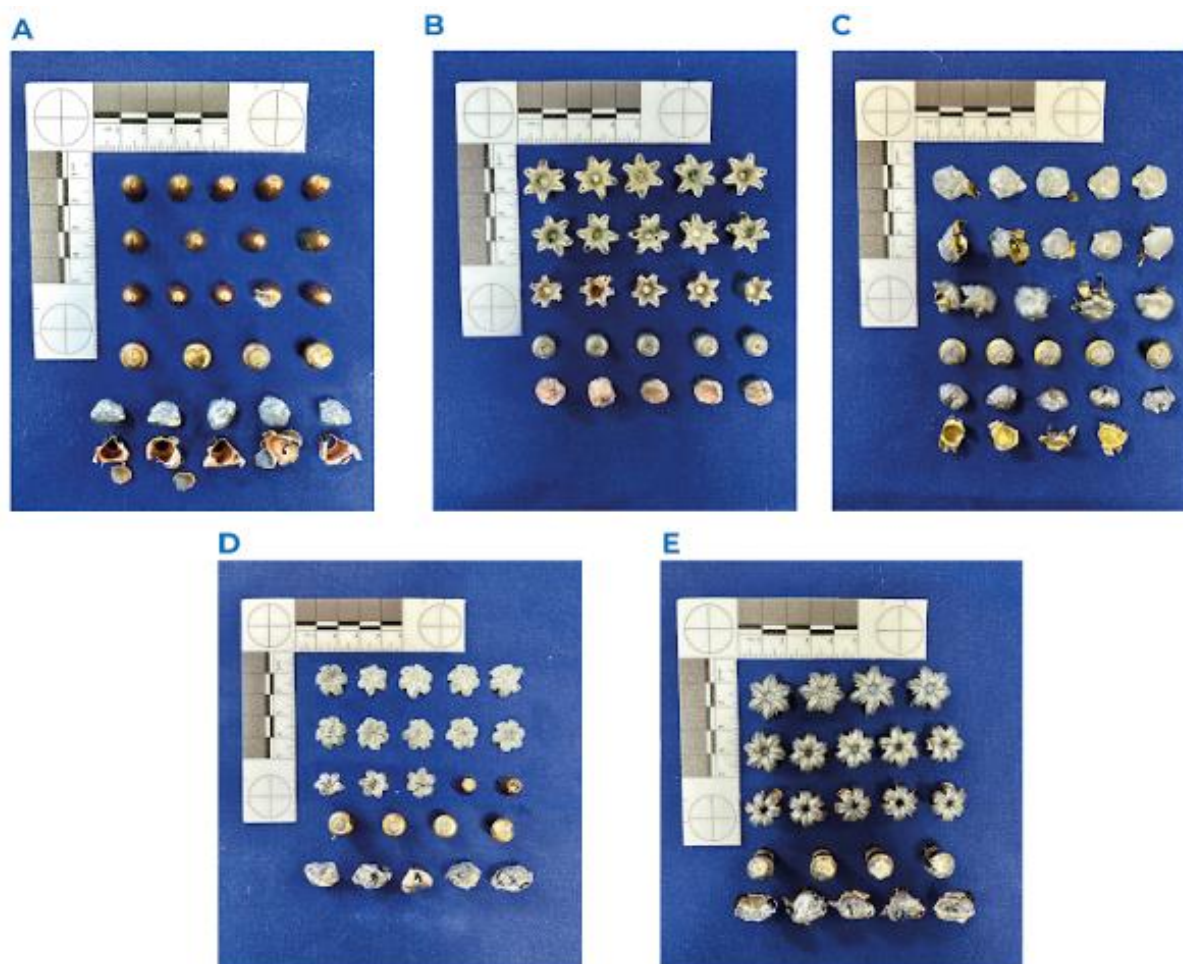
Total: 280 pontos

Figura 33 - Gráfico de barras verticais representando a nota final das munições calibre 9 x 19 mm.



Fonte: do autor.

Figura 34 – Quadro geral dos resultados dos projéteis em calibre 9 x 19 mm: ETOG (A), Copper Bullet Tactical (B), Gold Hex (C), Bonded (D) e HST (E).



Fonte: do autor.

## 6.10 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O principal fator limitador do estudo foi o alto custo envolvido nesse tipo de pesquisa, que exige a aquisição de insumos caros (como a gelatina e as barreiras intermediárias), bem como as munições dos mais diversos tipos e calibres, algumas com custo aproximado de R\$ 18,00 por cada cartucho. Repise-se que a pesquisa não contou com patrocínio, incentivo ou bolsa de qualquer natureza, sendo inteiramente custeado pelo mestrando.

Mais além, em face do pós-graduando residir em Brasília/DF durante os dois

primeiros anos de pesquisa e em Florianópolis/SC no último, cada deslocamento para a realização dos ensaios em Ribeirão Preto/SP também demandava gastos vultosos, com passagem aérea ou gasolina, bem como hospedagem e demais despesas decorrentes.

O calibre de alta velocidade 5,56 x 45 mm, previsto inicialmente na etapa de planejamento da pesquisa, também foi excluído dos ensaios tendo em vista que seu mecanismo de causação de lesão é bastante diverso dos calibres de baixa velocidade e a ausência de protocolos mais específicos para esse tipo de cartucho.

Como mencionado no projeto de pesquisa, não restou realizada a etapa de ensaios com *drywall* (gesso acartonado), prevista no Protocolo do FBI, em razão desse material ainda ser raro no país no âmbito da construção civil, sendo típico de casas norte-americanas.

Quanto aos ensaios propriamente ditos, evidentemente houve uma curva de aprendizado durante as variadas etapas da pesquisa, tendo como exemplo mais claro a necessidade de se mergulhar o projétil em água quente logo que fosse retirado da gelatina, para evitar o endurecimento do material e alteração nas medições de massa final.

## 6.11 CONFLITOS DE INTERESSE

Não há conflito de interesse de qualquer natureza, ou conotação comercial dos objetos do presente estudo, que se desenvolveu de maneira independente e de acordo com critérios objetivos, custeado em sua totalidade pelo pesquisador.

Restam ausentes vínculos comerciais com empresas do ramo ou interesse na divulgação/aprovação de determinado tipo de calibre ou munição.

A pesquisa não teve por objetivo promover, cancelar, recomendar, denegrir ou difamar qualquer fabricante ou modelo de armas ou munições.

## 7 DISCUSSÃO

Inicialmente, ao sopesarmos os resultados de experimentos de balística, em especial da terminal, com as características inerentes da interação do projétil com o alvo (no caso, barreiras intermediárias e a gelatina balística) é inafastável considerarmos que sempre haverá componentes de imprevisibilidade e de variabilidade dos dados encontrados, na seara do que se designou de balística do caos (CUNHA NETO, 2022).

A miríade de fatores em jogo é tão vasta (como a qualidade da detonação da espoleta, quantidade de propelente existente no cartucho e sua velocidade de queima, nível de *crimpagem* do projétil, formação do selo de gás pela expansão do estojo, o correto engrazamento do projétil ao raiamento para que adquira a estabilidade giroscópica, variações naturais dos materiais constitutivos dos projéteis, como chumbo e ligas de cobre, temperatura e umidade do ar atmosférico, mudanças microscópicas da estrutura das barreiras intermediárias e na gelatina balística, etc.), que os resultados em balística terminal serão, no mais das vezes, imprevisíveis.

A assertiva é confirmada pela própria SAAMI, que padroniza os valores de velocidade e pressão da grande maior parte dos calibres nominais empregados na atualidade para as mais diversas finalidades. A instituição norte-americana permite uma variação de velocidade de  $\pm 27,4$  m/s (conforme norma SAAMI Z299.1- 2015) dentre cartuchos do mesmo lote, reiterando a esperada variabilidade das medições nos testes balísticos.

Assim, os resultados obtidos permitem a verificação de **tendências** no comportamento dos tipos de projéteis eleitos para a pesquisa, mas é impossível afirmar que outros experimentos, em condições semelhantes, vão alcançar exatamente os mesmos valores ora expostos. Vale destacar que a realização de cinco disparos por cada tipo de barreira, com a análise das médias dos valores obtidos, mitiga em alguma monta a obtenção de informações oriundas de possíveis *outliers* e permite uma análise mais segura acerca do comportamento daquela munição específica.

O primeiro ponto de divergência encontrado é a própria velocidade dos projéteis na boca do cano em comparação com os dados disponibilizados pelo

fabricante. Conforme visto na Tabela 2, apenas dois cartuchos (.38 SPL Gold Hex e 9 x 19 mm ETOG) tiveram a velocidade medida igual ou superior aos valores disponibilizados pelo fabricante em seu *website*.

Os cartuchos .40 S&W Copper Bullet Tactical 135 gr e .45 ACP ETOG 230 gr apresentaram a maior variação (-9%), enquanto que a Gold Hex de 115 gr e Bonded de 147 gr, ambas em 9 x 19 mm, registraram velocidade 8% menor que o esperado, mesmo considerando que as armas utilizadas tinham o mesmo tamanho de cano do provete previsto pela norma SAAMI 299.3/2015 (4 e 5", a depender do calibre).

Se aplicarmos a fórmula para cálculo da energia cinética ( $EC = \frac{m.v^2}{2}$ ), a diferença do valor divulgado para o mensurado seria, para a .40 S&W, Copper Bullet Tactical, de 108 J e para a .45 ACP, ETOG, de 87 J, exemplificativamente.

Quanto à munição .380 ACP, nas configurações ETOG e Gold Hex, sua menor velocidade era esperada (-9% e -8%, respectivamente), tendo em vista que o tamanho do armamento utilizado (3,43") é menor que o padrão do provete da norma SAAMI (3,75").

Em relação aos ensaios realizados, a gelatina balística calibrada a 10% (no padrão estabelecido por Fackler e Malinowski, 1985) se mostrou como um simulante adequado aos ensaios na seara da balística terminal, constituindo-se em meio homogêneo e padronizado para os diferentes testes levados a efeito durante a pesquisa, tal qual já anotado por Bresten (1997), Haag (1986), Humprey e Kumaratilake (2016) e Santos (2022).

Um dos fatores que auxiliou em grande monta nas medições da penetração dos projéteis foi a translucidez da gelatina, que permitiu a visualização dos projéteis em seu ponto de repouso final, corroborando o exposto por Santos (2022). As medições dos índices de penetração e a extração dos projéteis dos blocos foram realizadas com facilidade em virtude dessa característica.

As variações na temperatura dos blocos de gelatina medidas durante os ensaios não produziram impacto significativo na calibragem do bloco, conforme já observado por Cronin e Falzon (2010) em análise das taxas de tensão desse tipo de material. No mesmo sentido, o tempo de fabricação dos blocos de gelatina também não apresentou variação significativa dos resultados, como antecipado por Guey *et al.* (2018) e Maiden *et al.* (2015).

A baixa variação do comportamento de cada tipo de projétil na gelatina comprovou que o meio eleito para os testes apresentava homogeneidade adequada, trazendo constância e repetibilidade aos procedimentos de pesquisa. Os resultados corroboram, em sua maioria, os achados de Santos (2022), com destaque para a munição .380 ACP Gold Hex, que teve variação de apenas 0,25” entre os dois estudos no E1 (gelatina nua).

Sopesando-se os resultados acima expostos, os projéteis ETOG/ETPP demonstraram maior constância de performance durante os ensaios, apesar da ausência de expansão (como é característico desse tipo de ponta). No ensaio 4 (chapas de aço), esse tipo de ponta apresentou um amassamento pelo contato com a superfície rígida, ampliando em pequena monta seu diâmetro final.

Até mesmo no diminuto calibre .380 ACP, o cartucho ETOG +P penetrou de forma consistente, com expansão nula, até o E3 (madeira). É digno de nota que no E4 (chapas de aço) e E5 (vidro automotivo) os projéteis sofreram importante amassamento e redução da penetração, abaixo das 12”.

Como tendência da configuração do projétil, esse tipo de ponta no calibre 9 x 19 mm apresentou total separação jaqueta/núcleo no ensaio 5 (vidro automotivo), com índices de retenção de massa inferior aos apresentados pela linha Bonded. Em alguns casos, a jaqueta sequer conseguiu penetrar no bloco de gelatina, ficando presa ao tecido leve, como ocorrido com o calibre .40 S&W.

Por seu formato não destinado à expansão, as munições ogivais e de ponta plana apresentaram grandes índices de penetração, como esperado. A expansão amplia o diâmetro do projétil, fazendo com que sofra mais atrito ao se deslocar pela gelatina, reduzindo os índices de penetração. Por outro lado, uma penetração exacerbada pode, teoricamente, aumentar os riscos de “danos colaterais” da ação policial, com lesões a terceiros inocentes causadas pela transfixação da ameaça primária.

A questão tática acerca dessa possibilidade de “danos colaterais” é complexa, haja vista o baixo índice de acerto médio dos policiais em ocasiões de confronto armado nos EUA, em torno de 17% (LEANDRO, 2016). Isto é, se os policiais erram cerca de 80% dos disparos que efetuam em situações reais, parece exagerada a preocupação justamente com os (poucos) tiros que acertaram o agressor.

Todavia, Sweeney (2018) registra que durante o curto período em que a Polícia de Nova Iorque (NYPD) empregou as munições ogivais (FMJ), houve cerca de vinte casos de transfixação do agressor, com “danos colaterais” (lesões) a inocentes. Nesse sentido, a “hiperpenetração” deve ser evitada, através da escolha adequada da munição ao trabalho policial. Esse parece ser o motivo do Protocolo do FBI possuir um limite máximo desejável para a penetração (18”).

Na seara das munições de ponta oca, os dados demonstram que, especialmente na linha Gold Hex, no calibre 9 x 19 mm, os projéteis tendem a apresentar baixa penetração (média geral de apenas 11,5”) e pouca retenção de massa, com fragmentação das ogivas mesmo no ensaio com gelatina nua, sem anteparos. Essa tendência de estilhaçamento pode ser, hipoteticamente, causada pela alta velocidade desse projétil (> 1200 fps), possivelmente acima do limite de resistência dos materiais componentes da ogiva ao impactar meios mais densos que o ar.

Nesse sentido, o resultado da munição Gold Hex, de 115 gr, vai ao encontro do escólio de MacPherson (1996b), que quase três décadas atrás já afirmava que o nível de penetração de projéteis de 115 gr era, no mais das vezes, inadequado. Primordial lembrar que, segundo anotações de Fackler (1994b), durante o já citado Tiroteio de Miami, outra munição de 115 gr, a Winchester Silvertip™, não conseguiu penetrar mais do que 8” no tórax do assaltante Michael Platt, incapaz de atingir seu coração. Em seguida, ainda plenamente consciente, Platt executou os agentes Jerry Dove e Benjamin Crogan a tiros de .223 Remington com uma carabina Ruger Mini-14, além de ferir outros cinco agentes.

Destaca-se que a tendência de estilhaçamento da linha Gold Hex já foi apontada no recente estudo de Faria *et al.* (2023), com fragmentação ainda maior quando a munição era disparada de uma arma com cano mais longo (carabina) e, dessa forma, com maior velocidade de boca de cano, no calibre .38 SPL.

A linha Copper Bullet Tactical apresentou uniformidade de performance durante os ensaios, com reduzida variação de resultados entre os diferentes calibres pesquisados. Contudo, apesar de ser capaz de expandir de forma consistente e relevante, os projéteis de cobre no calibre 9 x 19 mm não conseguiram romper a linha de corte de 12 polegadas de penetração mínima no E1, E2 e E5. Especial menção deve ser feita à retenção de massa dos projéteis monolíticos, que conseguiram manter



o índice de 100% em todos os ensaios.

É lícito inferir ainda que as médias gerais de penetração das munições Gold Hex e Copper Bullet Tactical, no calibre 9 x 19 mm, foram em grande monta impulsionadas pelo E4, no qual as pontas sofreram amassamento e se comportaram mais próximas de um projétil ogival, ampliando o índice de penetração médio. Assim, em razão da baixa penetração nos ensaios sem barreiras pesadas (que simulam condições de um confronto armado sem obstáculos) esses dois tipos de munição seriam, hipoteticamente, considerados inadequados para fins de uso policial.

No calibre 9 x 19 mm, o projétil do tipo Bonded, soldado em nível molecular para impedir a separação jaqueta/núcleo, demonstrou extensa expansão e penetração adequadas, sem perda significativa de massa. Das opções nacionais testadas, a ponta de 147 gr obteve a maior nota, com índices comparáveis a excelentes munições do mercado americano.

É digno de registro que, das opções nacionais, a Bonded de 147 gr se mostrou como a munição com a **maior nota** no Protocolo do FBI, sendo justamente a que apresentou **menor energia** na boca de cano, abaixo de suas concorrentes da linha premium da CBC, Gold Hex e Copper Bullet Tactical. Nesse sentido, nota-se que a sobrepressão das linhas Gold Hex e Copper Bullet Tactical (ambas do tipo +P+) não melhorou sua performance na comparação com a Bonded (do tipo +P), podendo gerar, no limite, apenas um desgaste prematuro do armamento.

Aqui temos um indicativo claro da total inadequação de tomarmos o valor de energia cinética como norte para a escolha da munição para fins operacionais, como se mais Joules na boca do cano indicassem melhor performance, o que se demonstrou falso durante os ensaios, conforme já anotado por Macpherson (1996b). Nesse diapasão, vale apontar que as munições Bonded e HST são subsônicas, enquanto Gold Hex e Copper Bullet Tactical são supersônicas, com velocidades de boca de cano acima da barreira do som (340 m/s, aproximadamente), sem que essa característica influenciasse positivamente na performance balística diante dos testes propostos.

A assertiva também se mostrou válida para os demais calibres estudados, como o .380 ACP, .40 S&W e .45 ACP. Nesses casos, os tipos de munição com menos energia cinética apresentaram resultados melhores conforme os parâmetros arrolados

pelo FBI, principalmente quanto à penetração, de importância primordial para fins de incapacitação de uma ameaça.

Nesse sentido, analisando as notais finais das munições de calibre 9 x 19 mm, é forçoso reconhecer que os valores da quantidade de movimento de cada projétil se mostrou como um indicativo ligeiramente melhor de performance do que a energia cinética, especialmente por não supervalorizar a variável da velocidade pela função quadrática. Conforme os dados trazidos supra, a Bonded de 147 gr foi a munição com a maior quantidade de movimento nesse calibre nominal.

Os resultados expostos corroboram o proposto por Wolberg (1993), que sugere a utilização do projétil mais pesado possível que não exerça uma sobrepressão de câmara, indicando justamente a configuração de 147 gr JHP para o calibre 9 x 19 mm. No mesmo sentido, Campbell (1993) e MacPherson (1996a) também defendiam, acertadamente, o uso da configuração de projétil de 147 gr para emprego policial, exatamente as massas das munições Bonded e Federal HST, que obtiveram resultados mais satisfatórios nos ensaios.

Conforme já inferido por Hollermann e Fackler (1995) e Wolberg (1991), a relação de grandezas inversamente proporcionais entre penetração e expansão ficou evidente, por exemplo, no ensaio de gelatina nua, em que dois projéteis que conseguiram ultrapassar a barreira de 12" de penetração (.38 SPL Gold Hex e 9 x 19 mm Bonded) foram justamente os piores colocados na tabela de expansão.

A conjugação dos dados disponíveis leva à conclusão que alguns dos modelos de munições de ponta oca ensaiados, como o Gold Hex, se expandem de forma bastante agressiva, mas às custas da penetração adequada, o que não se entende como adequado conforme a moderna doutrina da balística terminal.

O próprio FBI assevera que a expansão só aumenta a efetividade da munição se, e somente se, o projétil apresentar penetração suficiente (PATRICK, 1989), o que não se demonstrou durante os ensaios. Fackler (1992b) corrobora a assertiva, ao afirmar que penetração acima de 20" ainda é preferível, mesmo que desperdice potencial do projétil, do que um índice abaixo de 12".

Como visto, um projétil que penetre fundo o suficiente sem expandir é preferível a outro com expansão significativa mas com pouca penetração. capaz de causar lesões mais severas pelo mecanismo da cavidade permanente,

potencialmente através do dano a estruturas mais nobres do corpo, como grandes órgãos e vasos calibrosos. Nessa toada, um projétil ogival seria uma opção mais adequada às versões Gold Hex.

Tome-se como exemplo o calibre .380 ACP, em que a munição Gold Hex teve média de penetração de apenas 7,0” nos dois primeiros ensaios, aproximadamente a metade do necessário para atingir o padrão mínimo de aceitação para um cartucho de defesa, com expansão de 73,4%. Para esse calibre, a versão ETOG +P, que alcançou penetração média de 18,4” nos mesmos ensaios seria claramente superior, em que pese a ausência de expansão da ogiva nessa configuração e um incremento do potencial de danos colaterais.

Nos calibres .40 S&W e .45 ACP o raciocínio também se aplica da mesma forma. Enquanto a Gold Hex e a Copper Bullet Tactical não atingiram o mínimo de 12” na média dos dois primeiros ensaios, sem barreiras pesadas, os projéteis ETPP/ETOG obtiveram média de penetração acima de 20”, mostrando-se, hipoteticamente, preferíveis numa situação de confronto armado.

É digno de registro que, em se tratando de projéteis ETOG/ETPP, os calibres .40 S&W e .45 ACP apresentaram índices de penetração média acima do 9 x 19 mm, demonstrando como inverídica a informação tantas vezes propalada pela mídia<sup>21</sup> de que o 9 x 19 mm seria “muito transfixante”, “capaz de ultrapassar várias pessoas” e outras falácias do gênero.

De outra banda, as notas obtidas após os ensaios propostos pelo FBI denotam que projéteis de ponta oca com designs mais modernos (como o CBC Bonded e o Federal HST, ambos em 147 gr) se mostram como mais adequados ao trabalho policial, por conseguirem ultrapassar a barreira mínima das 12” de penetração e ainda expandir de maneira consistente, ampliando o diâmetro da cavidade permanente, mecanismo primário de lesão para calibres de baixa velocidade.

A título ilustrativo e didático, se considerarmos que a cavidade permanente dos projéteis de baixa velocidade terá a forma final assemelhada a um cilindro, um túnel de tecido destruído pela passagem da ogiva pelo meio biológico, poderemos calcular o volume hipotético de lesão deixado pelo tiro com diferentes munições. Ao

---

<sup>21</sup> Como exemplo, notícia do jornal Correio Braziliense: <https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/brasil/2017/08/24/interna-brasil,620426/exercito-brasileiro-autoriza-calibre-9mm-para-uso-pessoal-de-policiais.shtml>. Acesso em 08/01/2024.

analisarmos a fórmula do volume de um cilindro ( $V = \pi r^2 h$ , com  $h$  (altura) representando o índice de penetração), fica claro que um pequeno incremento no raio amplia em grande monta o resultado final, por ser uma função quadrática.

Assim, tomando como exemplo um projétil de calibre 9 x 19 mm ETOG que tenha penetrado 18" (simulando a penetração máxima hipotética útil para a causação de lesões) e outro HST, com os dados referentes ao E1 (gelatina nua) teremos que o volume "destruído" pelo primeiro seria de 29.071 mm<sup>3</sup>, enquanto que pelo segundo equivaleria a 95.848 mm<sup>3</sup>, mais de três vezes superior.

Verifica-se através desse exemplo ilustrativo que, apesar da HST ter penetrado menos do que a ETOG, mas acima das 12", a extensa expansão amplia fortemente a causação de dano hipotético pela cavidade permanente. Parece evidente que a perda sanguínea causada pelos dois projéteis poderia se mostrar bastante díspare, ampliando as chances de rápida incapacitação em razão do choque hipovolêmico pela adequada escolha da munição.

Nessa toada, há de se concordar com Fackler (1995), que infere que as forças policiais se beneficiam diretamente dos inúmeros ensaios levados a efeito com o uso da gelatina balística, por entidades governamentais e privadas, podendo, por essa razão, empregar materiais de qualidade mais elevada oferecidos pela indústria.

Os resultados da pesquisa corroboram a escolha de grande parte das forças policiais do Brasil para sua munição de uso operacional, como a Polícia Federal e Rodoviária Federal, que elegeram o cartucho CBC Bonded de 147 gr para equipar seus operadores, justamente o cartucho nacional que obteve melhor desempenho perante o protocolo de ensaios proposto.

Os achados mais interessantes da pesquisa (*highlights*) foram os seguintes:

- Projéteis ogivais/ponta plana tendem a ultrapassar o limite de 18" de penetração na gelatina balística, em todos os calibres.
- A linha Gold Hex apresentou forte tendência de estilhaçamento e baixa penetração. Único calibre em que essa munição demonstrou resultados aceitáveis foi o .38 SPL.
- Projéteis Copper Bullet Tactical tendem a penetrar ligeiramente abaixo das

12”, mas seu corpo monolítico foi capaz de reter toda a massa mesmo através de barreiras intermediárias.

- Quase todos os projéteis nacionais de ponta oca tendem a sofrer entupimento contra a barreira de madeira, impedindo sua expansão.

- A tecnologia de soldagem dos projéteis Bonded permitiu de fato uma ligação entre jaqueta/núcleo dificultando a perda de massa do projétil ao impactar a barreira de vidro automotivo. Já os projéteis ETOG/ETPP tendem a sofrer separação entre seus componentes quando impactam essa barreira.

- A munição Federal HST apresentou o melhor resultado dentre as munições pesquisadas, aliando penetração acima do limite mínimo de 12” com extensa expansão, mesmo em barreiras intermediárias como madeira.



## 8 CONCLUSÃO

Diante das limitações do estudo e com o emprego da metodologia discriminada no presente trabalho, concluiu-se que, no prevalente calibre 9 x 19 mm, o cartucho CBC Bonded de 147 gr apresentou o melhor desempenho dentre as munições nacionais, mostrando-se como o mais indicado para fins de emprego em atividades de segurança pública, sob a ótica da balística terminal. A tecnologia mais avançada de construção desse tipo de projétil, com a junção do núcleo com a jaqueta, demonstrou superioridade de performance e maior constância de resultados.

No mais das vezes, a munição Bonded demonstrou ser capaz de aliar índices de penetração reputados como adequados segundo os parâmetros do FBI, além de expandir de maneira controlada e conseguir manter a massa do projétil inalterada mesmo com as barreiras pesadas.

Sopesando-se os fatores atuantes quando da incapacitação tardia ou mediata, através do choque hipovolêmico por extravasamento abundante de sangue do agressor, o cartucho Bonded se mostrou superior às outras opções de ponta oca testadas durante o estudo. Como visto, os projéteis Gold Hex e Copper Bullet Tactical expandiram de forma agressiva, sem contudo atingir o patamar mínimo de penetração, de primordial importância para a causação de lesões a grandes vasos e órgãos vitais.

Em relação à opção ogival (ETOG), com grande penetração e expansão virtualmente ausente, os projéteis Bonded também se provaram como uma opção melhor para uso operacional, ao reduzir a probabilidade de danos colaterais da ação policial por seus índices controlados de penetração, geralmente menores que 18”.

A única munição estrangeira, Federal HST, utilizada como parâmetro de comparação de performance, alcançou o melhor resultado entre todos os cartuchos, dentro dos parâmetros de ensaio arrolados pelo Protocolo do FBI. Percebe-se, com essa constatação, que há tecnologia disponível para a manufatura de projéteis destinados ao uso operacional que alcancem patamares adequados em termos de penetração, expansão e retenção de massa, aumentando as chances de sucesso na incapacitação de uma ameaça por parte dos agentes responsáveis pela aplicação da lei.

Nos calibres .40 S&W e .45 ACP, em uso por várias instituições de segurança pública do Ocidente, conquanto versões de ponta oca não tenham sido testadas na integralidade do Protocolo, as versões ETOG/ETPP se mostraram como superiores às linhas Gold Hex e Copper Bullet Tactical no quesito penetração.

Quanto ao .380 ACP, seus dados balísticos referentes à massa e velocidade dos projéteis, bem como o comportamento terminal vislumbrado durante o estudo indicam que o calibre nominal se mostra aquém das expectativas para uso policial, sendo o 9 x 19 mm, .40 S&W e .45 ACP alternativas melhores para essa finalidade. Nada obstante, a versão ETOG se mostrou como preferível à Gold Hex, que reiterou seu padrão de comportamento no tocante à baixa penetração, mesmo contra barreiras leves.

No calibre nominal .38 SPL a munição Gold Hex demonstrou índices melhores de penetração na comparação com as opções destinadas aos calibres de pistola (.380 ACP, 9 x 19 mm, .40 S&W e .45 ACP), em especial nas duas primeiras fases, em razão da expansão menos agressiva.

De todo o exposto, lícito inferir que munições jaquetadas de ponta oca com tecnologias de construção mais modernas ainda permanecem como melhores opções para uso operacional por profissionais de segurança pública.



**REFERÊNCIAS**<sup>22</sup>

ADKINS, R.L.; DIMAIO, V.; FACKLER, M.L.; GODDARD, S.; LINDSEY, D.; MARSHALL, E.; PETERS, C.; SMITH, O.C. **Wound Ballistic Workshop, 9mm vs. .45 Auto**. September 15-17, 1987.

ALEXANDROPOULOU, C. A.; PANAGIOTOPOULOS, E. Wound ballistics: Analysis of blunt and penetrating trauma mechanisms. **Health Sci J**. 4: 225-236, 2010.

BAKER, C. Handgun self-defense ammunition ballistics test. **Lucky gunner lab**. 15 out 2015. Disponível em < <https://www.luckygunner.com/labs/self-defense-ammo-ballistic-tests/>>. Acesso em 27/05/2020.

BARLETT, C. S. Clinical update: gunshot wound ballistics. **Clin Orthop Relat Res**. 408: 28-57, 2003.

BEALL Jr, A. C.; OCHSNER, J. L; MORRIS Jr, G. C; COOLEY D. A; DEBAKEY, M. E. Penetrating wounds of the heart. **J Trauma**. 12: 568, 1972.

BERRYMAN, H. E. A systematic approach to the interpretation of gunshot wound trauma to the cranium. **Forensic Sci Int**. 301: 306-317, 2019.

BETINI, E. M.; DUARTE, C. T. S. **Curso de Uso Diferenciado da Força**. São Paulo: Ícone, 2017.

BEYER, M. **Selection of Patrol Ammunition**. Research paper submitted in partial fulfillment required for graduation from the leadership command college. Victoria Police Department, 2007.

BIR, C.; ANDRECOVICH, C.; DEMAIO, M.; DOUGHERTY, P. J. Evaluation of bone surrogates for indirect and direct ballistic fractures. **Forensic Sci Int**. 261:1-7, 2016.

---

<sup>22</sup> De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

doi: 10.1016/j.forsciint.2016.01.023.

BRASIL. Decreto 10.030/2019, de 30 de setembro de 2019. Aprova o regulamento dos produtos controlados. **Diário Oficial da União** - Seção 1 - Edição Extra - B - 30/9/2019.

BRASS FETCHER BALLISTIC LAB. **FBI ammunition protocol**. Disponível em < <https://brassfetcher.com/FBI%20Ammunition%20Protocol/FBI%20Ammunition%20Protocol.html>>. Acesso em 07/08/2021.

BREDSTEN, G. Water soaked newspapers: an alternative for 10% ordnance gelatin. **J Int Wound Bal Assoc**.3 (1): 17-20, 1997.

BREEZE, J.; CLASPER, J. C. Determining the velocity required for skin perforation by fragment simulating projectiles: a systematic review. **J R Army Med Corps**. 159 (4): 265-70, 2013.

BREEZE, J.; JAMES, G. R.; HEPPER, A. E.; Perforation of fragment simulating projectiles into goat skin and muscle. **J R Army Med Corps**. 159 (2):84-9, 2013.

BREEZE, J.; SEDMAN, A. J.; JAMES G. R; NEWBERRY, T. W.; HEPPER, A. E. Determining the wounding effects of ballistic projectiles to inform future injury models: a systematic review. **J R Army Med Corps**. 160 (4): 273-278, 2014. Doi:10.1136/jramc-2013-000099.

CAMPBELL, S. **Summary of remarks to the wound ballistics seminar**. FBI Academy, Quantico/VA, 1993.

CARR, D. J.; STEVENSON, T.; MAHONEY, P. F. The use of gelatine in wound ballistics research. **Int J Legal Med**. 132 (6): 1659-64, 2018. doi: 10.1007/s00414-018-1831-7.

CLASPER, J. The interaction of projectiles with tissues and the management of ballistic

fractures. **J R Army Med Corps.** 147 (1) : 52-61, 2001. doi: 10.1136/jramc-147-01-05. PMID: 11307677.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CARTUCHOS. **Informativo Técnico 56.** Disponível em <cbc.com.br> Acesso em 27/05/2020.

CORZINE, A. J.; ROBERTS, G. K. Correlation of ordnance gelatin penetration results between 20% gelatin at 10°C and 10% gelatin at 4°C. **AFTE J.** 25 (1): 2-5, 1993.

COURTNEY, M.; COURTNEY, A. Review of criticisms of ballistic pressure wave experiments, the Strasbourg goat testes and the Marshall and Sanow data. **Med Phys,** 2007.

COURTNEY, M.; COURTNEY, A. **Scientific Evidence for Hydrostatic Shock.** Department of Physics, United States Military Academy, WestPoint, NY, 2010.

CRONIN, D. S.; FALZON, C. Characterization of 10% ballistic gelatin to evaluate temperature, aging, and strain rate effects. **Exp Mech.** 51: 1197-1206, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11340-010-9438-z>.

CUNHA NETO, J. **Balística para profissionais do Direito.** 2 ed. Brasília: Clube de Autores: 2022.

DAVIS, J. H. **Summary of remarks to the wound ballistics seminar.** FBI Academy, Quantico/VA, 1993.

DeMUTH Jr, W. E.; NICHOLAS, G. G.; MUNGER, B. L. Buckshot wounds. **J Trauma.** 18 (1): 53–57, 1978.

DEUTSCHE HOCHSCHULE DER POLIZEI. **Technische Richtlinie (TR) Patrone 9 mm x 19, schadstoffreduziert.** Version 5. 2021. Disponível *online* em <[https://www.dhpol.de/microsite/pti/medien/downloads/richtlinien/technische-richtlinien/munition/TR-Patrone-9mmx19\\_Stand\\_24-06-2021.pdf](https://www.dhpol.de/microsite/pti/medien/downloads/richtlinien/technische-richtlinien/munition/TR-Patrone-9mmx19_Stand_24-06-2021.pdf)>. Acesso em 08/01/2024.

DiMAIO, V. J. M. **Gunshot wounds- practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques**. CRC Press, 2016.

DiMAIO, V. J. M. **Summary of remarks to the wound ballistics seminar**. FBI Academy, Quantico/VA, 1993.

DiMAIO, V. J. M.; COPELAND, A. R.; BESANT-MATTHEWS, P. E.; FLETCHER, L. A.; JONES, A. Minimal Velocities Necessary for Perforation of Skin by Air Gun Pellets and Bullets. **J Forensic Sci.** 27 (4): 894-898, 1982. PMID: 7175470.

DOUGHERTY, P. J.; SHERMAN D.; DAU N.; BIR C. Ballistic fractures: indirect fracture to bone. **J Trauma.** 71 (5): 1381-4, 2011. doi:10.1097/ta.0b013e3182117ed9.

EVANS, J. J.; BOST, A.; MUCI-KÜCHLER, K. G.; DEVEAUX, L. C. Factors affecting use os ballistics gelatin in laboratory studies of bacterial contamination in projectile wounds. **Mil Med Res.** 5 (16):1-10, 2018. doi: 10.1186/s40779-018-0164-7.

EXÉRCITO brasileiro autoriza o uso pessoal de arma calibre 9mm por policiais. *Correio Braziliense*, Brasília, 24 ago. 2017. Acesso em 08/01/2024.

FACKLER, M. L. Bullet penetration testing. **J Int Wound Bal Assoc.** 2 (3): 3-4, 1996a.

FACKLER, M. L. Civilian gunshot wounds and ballistics: dispelling the myths. **Emerg Med Clin North Am.** 16 (1):17-28, 1998. doi: 10.1016/s0733-8627(05)70346-1.

FACKLER, M. L. Gunshot wound review. **Ann Emer Med.** 28: 194-203, 1996b.

FACKLER, M. L. Lagarde´s gunshot injuries: an introduction. **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (2): 26-32, 1992a.

FACKLER, M. L. Missile-caused wounds. **J Int Wound Bal Assoc.** 4 (3): 39-46, 2000.

FACKLER, M. L. Police handgun ammunition selection. **J Int Wound Bal Assoc.** 1

(3): 32-37, 1992b.

FACKLER, M. L. Questions and comments. **J Int Wound Bal Assoc.** 4 (1): 4-17, 1999a.

FACKLER, M. L. Questions and comments. **J Int Wound Bal Assoc.** 4 (2): 4-8, 1999b.

FACKLER, M. L. Review of: Terminal Ballistics—A Text and Atlas of Gunshot Wounds. **J Forensic Sci.** 51 (4): 960-961, 2006. doi:10.1111/j.1556-4029.2006.00189.

FACKLER, M. L. **Summary of remarks to the wound ballistics seminar.** FBI Academy Quantico/VA, 1993.

FACKLER, M. L. The 'Strasbourg Tests:' Another Gunwriter/Bullet Salesman Fraud? **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (4): 10-11, 1994a.

FACKLER, M. L. The wound profile & human body: damage pattern correlation. **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (4): 12-19, 1994b.

FACKLER, M. L. Theodor Kocher and the scientific foundation of wound ballistics. **Surgery.** 172: 153-160, 1991.

FACKLER, M. L. Undeniable evidence. **J Int Wound Bal Assoc.** 4 (2): 14-15, 1999c.

FACKLER, M. L. Wound ballistics and soft-tissue wound treatment. **Tech Ortho.** 10 (3): 163-170, 1995.

FACKLER, M. L. Wound ballistics research of the past twenty years: a giant step backwards. **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (3): 18-23, 1992c.

FACKLER, M. L. Wound ballistics: a review of common misconceptions. **J Am Med Assoc.** 13; 259 (18): 2730-6, 1988. doi: 10.1001/jama.259.18.2730. Erratum in: **J Am Med Assoc.** 9; 260 (22): 3279, 1988. PMID: 3282087.

FACKLER, M. L.; BELLAMY, R. F.; MALINOWSKI, J. A. A reconsideration of the wounding mechanism of very high velocity projectile – importance of projectile shape. **J Trauma**. 28: 63-67, 1988a. doi: 10.1097/00005373-198801001-00014.

FACKLER, M. L.; BELLAMY, R. F.; MALINOWSKI, J. A. The wound profile: illustration of the missile-tissue interaction. **J Trauma**. 28: S21-9, 1988b. doi: 10.1097/00005373-198801001-00007.

FACKLER, M. L.; BELLAMY, R. F.; MALINOWSKI, J. A. Wounding mechanism of projectiles striking at more than 1.5km/sec. **J Trauma**. 26 (3): 250-4. 1986. doi: 10.1097/00005373-198603000-00007.

FACKLER, M. L.; BURKHALTER, W. E. Hand and forearm injuries from penetrating projectiles. **J Hand Surg Am**. 17 (5): 971-5, 1992. doi: 10.1016/0363-5023(92)90481-4. PMID: 1401817.

FACKLER, M. L.; MALINOWSKI, J. A.; HOXIE, S. W.; JASON, A. Wounding effects of the AK-47 rifle used by Patrick Purdy in the Stockton, California, schoolyard shooting of January 17, 1989. **Am J Forensic Med Pathol**. 11 (3): 185-9, 1990. doi: 10.1097/00000433-199009000-00001. PMID: 2220700.

FACKLER, M. L.; MALINOWSKI, J. The wound profile: a visual method for quantifying gunshot wound components. **J Trauma**. 25 (6): 522-529, 1985.

FACKLER, M. L.; SURINCHAK, M. A.; MALINOWSKI, J. A.; BOWEN, R. E. Wounding potential of the Russian AK-74 Assault Rifle. **J Trauma**. 24 (3): 263-266, 1984a. doi:10.1097/00005373-198403000-00014.

FACKLER, M. L.; SURINCHAK, M. A.; MALINOWSKI, J. A.; BOWEN, R. E. Bullet fragmentation: a major cause of tissue disruption. **J. Trauma**. 23: 35-39, 1984b. PMID: 6694223.

FARIA, F. A.; ISSA, J. P. M.; JACOMETTI, V.; SILVA, R. H. A. Terminal ballistics for

22 LR and 38 SPL calibers tested in different conditions. **AFTE J.** 55 (2): 92-101, 2023.

FRANÇA, G. V. **Medicina Legal.** 9.ed. Rio da Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

GÖRANSSON, A. M.; INGVAR, D. H.; KUTYNA, F. Remote Cerebral Effects on EEG in High-energy Missile Trauma. **J Trauma.** 28 (1): 204-205, 1988.

GUEY, J.; RODRIGUES, S.; PULLEN, A.; SHAW, B.; KIESER, D. C. Effect of aging on the calibration of ballistic gelatin. **J R Army Med Corps.** 164 (4): 277-280, 2018. doi: 10.1136/jramc-2018-000924. PMID: 29487205.

HAAG, L. C. Ballistic Gelatin: Controlling variances in preparation and a suggested method for the calibration of gelatin blocks. **AFTE J.** 21(3): 483 – 489, 1989.

HAAG, L. C. Standard Steel BB Perforation of Fresh Pigskin Over Standard Ordnance Gelatin. **AFTE J.** 42 (1): 56-60, 2010.

HANANI, Z. A. **Gelatin.** Encyplodia of food and health:191-195, 2016.

HARVEY, E. N. The mechanism of wounding by high velocity missiles. **Proc Am Philos Soc.** 92 (4): 294-304, 1948.

HARVEY, E. N.; McMILLEN, J. H. An experimental study of shock waves resulting from the impact of high velocity missiles on animal tissues. **J Exp Med.** 85 (3): 321-328, 1947.

HENWOOD, B. J.; OOST, T. S.; FAIRGRIEVE, S. I. Bullet Caliber and Type Categorization from Gunshot Wounds in *Sus Scrofa* (Linnaeus) Long Bone. **J Forensic Sci.** 64 (4): 1139-1144, 2019. doi: 10.1111/1556-4029.14004. PMID: 30664817.

HOLLERMAN, J. J., FACKLER, M. L., COLDWELL, D. M.; BEN-MENACHEM, Y. Gunshot wounds: 1. Bullets, ballistics, and mechanisms of injury. **Am Roentgen Ray**

**Soc.** 155 (4): 685-690, 1990.

HOLLERMANN, J. J.; FACKLER, M. L. Gunshot wounds: Radiology and wound ballistics. **Emerg Radiol.** 2 (4): 171–192, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF02615817>.

HUMPHREY, C.; KUMARATILAKE, J. Ballistics and anatomical modelling – a review. **J Legal Med.** 23: 21-29, 2016. doi: 10.1016/j.legalmed.2016.09.002

JAKOI, A.; IORIO J.; HOWELL R.; ZAMPINI J. M. Gunshot Injuries of the Spine. **Spine J.** 1;15 (9): 2077-85, 2015. doi: 10.1016/j.spinee.2015.06.007.

JANZON, B. O.; SCHANTZ, B.; SEEMAN, T. Scale effects in ballistic wounding. **J Trauma.** (1 Suppl) 28: S29-32, 1998. doi: 10.1097/00005373-198801001-00008.

JANZON, B. O.; SEEMAN, T. Muscle devitalization in high-energy missile wounds, and its dependence on energy transfer. **J Trauma.** 25 (2): 138-144, 1985. doi: 10.1097/00005373-198502000-0000.

JASON, A. The roots of bad data: the RII revisited. **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (2): 11-12, 1992.

JIN, Y.; MAI, R.; WU, C.; HAN, R.; LI, B. Comparison of ballistic impact effects between biological tissue and gelatin. **J Mech Behav Biomed Mater.** 78: 292-297, 2018. doi: 10.1016/j.jmbbm.2017.11.033. PMID: 29195221.

JUSSILA, J. Measurement of kinetic energy dissipation with gelatine fissure formation with special reference to gelatine validation. **Forensic Sci Int.** 28;150 (1): 53-62, 2005. doi: 10.1016/j.forsciint.2004.06.038. PMID: 15837008.

JUSSILA, J. Preparing ballistic gelatine—review and proposal for a standard method. **Forensic Sci Int.** 10; 141 (2-3): 91-8, 2004. doi: 10.1016/j.forsciint.2003.11.036.

JUSSILA, J.; KJELLSTRÖM, B. T.; LEPPÄNIEMI, A. Ballistic variables and tissue



devitalisation in penetrating injury – establishing relationship through meta-analysis of a number of pig tests. **Injury**. 36 (2): 282-92, 2005. doi: 10.1016/j.injury.2004.09.010. PMID: 15664593.

KIESER, D. C.; CARR, D. J.; LECLAIR, S. C. J.; HORSFALL, I.; THEIS, J-C.; SWAIN, M.V.; KIESER, J. A. . Remote ballistic fractures in a gelatine model - aetiology and surgical implications. **J Orthop Surg Res**. 8 (15): 2-6, 2013. doi: [10.1186/1749-799X-8-15](https://doi.org/10.1186/1749-799X-8-15).

KNEUBUEHL, B.P. (ed); COUPLAND, R. M.; ROTSCCHILD, M.A.; THALI, M.J. **Wound Ballistics: basics and applications**. 3.ed. Springer: 2008.

KOMENDA, J.; HEJNA, P.; RYDLO, M.; NOVAK, M.; KRAJSA, J.; RACEK, F.; REJTAR, P.; JEDLICKA, L. Forensic and clinical issues in the use of frangible projectile. **J Forensic Leg Med**. 20 (6): 697-702, 2013. doi: 10.1016/j.jflm.2013.04.006. PMID: 23910864.

LAZOVIC, R.; RADOJEVIC N.; CUROVIC I. Performance of primary repair on colon injuries sustained from low-versus high-energy projectiles. **J Forensic Leg Med**. 39:125-9, 2016. doi: 10.1016/j.jflm.2016.01.005. PMID: 26874437.

LEANDRO, A. A. M. **Armas de fogo e legítima defesa: a desconstrução de oito mitos**. São Paulo: Lumen Iuris, 2016.

MABBOTT, A.; CARR, D. J.; CHAMPION S.; MALBON, C. Comparison of porcine thorax to gelatine blocks for wound ballistics studies. **Int J Legal Med**. 130 (5): 1353-62, 2016. doi: 10.1007/s00414-015-1309-9. PMID: 26846765.

MACPHERSON, D. Improved handgun ammunition. **J Int Wound Bal Assoc**. 3 (3): 12-21, 1998.

MACPHERSON, D. Member questions. **J Int Wound Bal Assoc**. 2 (4): 3-5, 1996a.

MACPHERSON, D. Snow strikes (out) again. **J Int Wound Bal Assoc.** 3 (1): 32-35, 1997a.

MACPHERSON, D. The dynamics of tissue simulation. **J Int Wound Bal Assoc.** 3 (1): 24-25, 1997b.

MACPHERSON, D. Wound ballistics misconceptions. **J Int Wound Bal Assoc.** 2 (3): 42-43. 1996b.

MAHONEY, P.; CARR D.; ARM R.; GIBB, H. N.; DELANEY R. J. Ballistic impacts on an anatomically correct synthetic skull with a surrogate skin/soft tissue layer. **Int J Legal Med.** 132 (2): 519-530, 2018. doi: 10.1007/s00414-017-1737-9. PMID: 29185026.

MAIDEN, N. R. **The assessment of bullet wound trauma dynamics and the potential role of anatomical models.** Tese (Doutorado)- Escola de Ciências médicas, Universidade de Adelaide, Adelaide, 2014.

MAIDEN, N. R.; FISK, W.; WACHSBERGER, C.; BYARD, R. W. How different concentrations, temperatures and curing times affect calibration results. **J Forensic Leg Med.** 34: 145-50, 2015. doi: 10.1016/j.jflm.2015.05.019. Epub 2015 Jun 6. PMID: 26165674.

MANIGLIA, S. Balística terminal aplicada. In: CUNHA NETO, J.; MANSANARI, S.; MANIGLIA, S. **Balística para profissionais do Direito.** 2 ed. São Paulo/SP: Clube de Autores, 2022.

MARIZ, L. G. R. **Anotações da doutrina policial: balística.** Brasília: Clube de autores, 2019.

MARIZ, L. G. R. **Balística.** Brasília: Clube de autores, 2022.

MARSHALL, E. P.; SANOW, E. J. **Handgun stoppin power: the definitive study.**

Boulder: Paladin Press, 1992.

MARTINI, J. P. T. **Gelatina Balística e o Protocolo do FBI**. São Paulo: Clube de Autores, 2023.

MASSARO, P. P. **Understanding ballistics- complete guide to bullet selection**. Iola/WI: Gun digest books, 2015.

NEWGARD, K. The physiological effects of handgun bullets. **J Int Wound Bal Assoc**. 1 (3): 12-17, 1992.

NICHOLAS, N. C.; WELSCH J. R. **Institute for Non-Lethal Defense Technologies Report: Ballistic Gelatin**. 2004.

OLIVEIRA, A. M. **Dicionário brasileiro de armamento, munição e tiro**. 2.ed. Curitiba: CRV, 2021.

PATRICK, U. W. **Handgun wounding factors and effectiveness**. Firearms Training Unit, FBI Academy, 1989.

PENN-BARWELL, J.G.;HELLIKER, A.E. Firearms and bullets. *In*: BREEZE, J *et al.* (eds.). **Ballistic trauma: a practical guide**. Springer, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-61364-2.

PINTO, A.; RUSSO, A.; REGINELLI, A.; IACOBELLIS, F.; DI SERAFINO, M.; GIOVINE, S.; ROMANO, L. Gunshot wounds: ballistics and imaging findings. **Semin Ultrasound CT MRI**. 40: 25-35, 2018.

POST, S. M; JOHNSON, T. D. A survey and evaluation of variables in the preparation of ballistic gelatin. **J Int Wound Bal Assoc**. 2 (1): 9-20, 1995.

PRAT, N. J.; DABAN, J. L.; VOIGLIO, E. J.; RONGIERAS, F. Wound ballistics and blast injuries. **J Visc Surg**. 154: 9-12, 2017. doi: 10.1016/j.jviscsurg.2017.07.005.

RHEE, P. M.; MOORE, E. E.; JOSEPH, B.; TANG, A.; PANDIT, V.; VERCRUYSSSE, G. Gunshot wounds: a review os ballistics, bullets, weapons and myths. **J Trauma Acute Care Surgery**. 80 (6): 853-867, 2016.

ROBERTS, G. K. Performance of the New Winchester.45 ACP 230 Grain Jacketed Hollow Point Bullet: A Preliminary Report. **J Int Wound Bal Assoc**. 1 (2): 21-23, 1992.

ROBERTS, G. K. The wounding effects of 5.56mm/.223 Law Enforcement general purpose shoulder fired carbines compared with 12ga shotguns and pistol caliber weapons using a 10% ordnance gelatin a tissue simulant. **J Int Wound Bal Assoc**. 3 (4): 16-27, 1998.

RODRIGUES, S. A.; GUEY, J.; PLUMMER, T. C. H.; PULLEN, A.; SHAW, B.; KIESER D. C. Influence of rib impact on thoracic gunshot trauma. **J R Army Med Corps**. 164: 405-409, 2018.

SANTOS, L. M. P. **Balística externa e terminal de projéteis de baixa velocidade em armas de fogo curtas associadas à simulação de lesões em gelatina balística a 10%**. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP. Área de concetração: Patologia. Orientador: ISSA, João Paulo Mardegan. Riberão Preto, 2022.

SANTOS, L. M. P.; ISSA, J. P. M. Balística Forense: uma ciência e seu background. *In* ISSA, J. P. M (org). **Tratado de Balística: bases técnico-científicas, médico-legais e aplicações periciais**. São Paulo: Santos Publicações, 2023a.

SANTOS, L. M. P.; ISSA, J. P. M. Breve histórico da evolução da balístia e do uso de armas de fogo. *In* ISSA, J. P. M (org). **Tratado de Balística: bases técnico-científicas, médico-legais e aplicações periciais**. São Paulo: Santos Publicações, 2023b.

SANTOS, L. M. P.; ISSA, J. P. M. **Composição de gelatina balística e uso da composição**. Depositante: Universidade de São Paulo. Procurador: Agência USP de

Inovação. BR 10 2021 026401 2. Depósito 23/12/2021.

SEVERANCE, H. W. Ballistic Wounding, Critical Decisions in Emergency Medicine. **Open Emerg Med J.** 13: 7-16, 1999.

SILVA, A. B. **O poder de parada dos projéteis de armas de fogo- stopping power.** CAES/PMESP, 1991.

SILVINO JUNIOR, J. B. **Balística aplicada aos locais de crime.** 3.ed. Campinas: Millenium, 2021.

SOUZA, D. G. **Tiro de Precisão: fundamentos e balística interna.** Clube de autores: Brasília, 2022.

SPORTING ARMS AND AMMUNITION MANUFACTURER'S INSTITUTE. **American National Standard Voluntary Industry Performance Standards for Pressure and Velocity of Rimfire Sporting Ammunition for the Use of Commercial Manufacturers.** ANSI/SAAMI Z199.1-2015. Disponível *online* em <[https://saami.org/wp-content/uploads/2018/01/Z299-1\\_ANSI-SAAMI\\_Rimfire.pdf](https://saami.org/wp-content/uploads/2018/01/Z299-1_ANSI-SAAMI_Rimfire.pdf)>. Acesso em 07/01/2024.

STEVENSON, T.; CARR, D. J.; STAPLEY, S. A. The effect of military clothing on gunshot wounding patterns in gelatine. **Int J Legal Med.** 133 (4):1121-1131, 2019. doi: 10.1007/s00414-018-1972-8. PMID: 30488352.

SUNESON, A., HANSSON, H.A.; SEEMAN, T. Peripheral high-energy missile hits cause pressure changes and damage to the nervous system: experimental studies on pigs. **J Trauma.** 27 (7): 782-9, 1987. doi: 10.1097/00005373-198707000-00016.

SWAIN, M. V.; KIESER, D. C.; SHAH, S.; KIESER J. A. Projectile penetration into ballistic gelatin. **J Mech Behav Bio Mat.** 29: 385-392, 2014.

SWEENEY, P. **Choosing handgun ammo- the factors tha matter the most for self-defense.** Gun digest books, 2018.

TAYLOR, S. C.; KRANIOTI, E. F. Cranial trauma in handgun executions: Experimental data using polyurethane proxies. **Forensic Sci Int.** 282: 157-167, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.11.032>.

THIERAUF, A; MATTHIEU, G.; AXMANN, S.; KNEYBUEHL, B.; KROMEIER, J.; PIRSCHER, R.; POLLAK, S.; PERDEKAMP, M. The varying size of exit wounds from center-fire rifles as a consequence of the temporary cavity. **Int J Legal Med** . 127: 931–936, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0869-9>.

TOCCHETTO, D. **Balística forense: aspectos técnicos e jurídicos**. 11.ed. Campinas: Millenium, 2021.

VAN MAANEN, M. Discrepancies in the marshall & sanow "data base": an evaluation over time. **J Int Wound Bal Assoc.** 4 (2): 9-13, 1999.

WANG, Y.; SHI, X.; CHEN, A.; XU, C. The experimental and numerical investigation of pistol bullet penetrating soft tissue simulant. **Forensic Sci Int.** 249: 271-279, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.02.013>.

WENDLING. H. **Policiais: coletânea**. Uberlândia: Clube de Autores, 2019.

WOLBERG, E. J. Performance of the Winchester 9mm 147 Grain Subsonic Jacketed Hollow Point Bullet in Human Tissue and Tissue Simulant. **J Int Wound Bal Assoc.** 1 (1): 10-13, 1991.

WOLBERG, E. J. **Summary of remarks to the wound ballistics seminar**. FBI Academy, Quantico/VA, 1993.

## ANEXO A - Dispensa dos comitês de ética



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO  
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS




## DECLARAÇÃO

O Projeto de Pesquisa intitulado “*Performance em balística terminal das munições de uso policial de fabricação nacional: análise baseada no protocolo do FBI*”, sob a responsabilidade do **Professor João Paulo Mardegan Issa** e do aluno **João da Cunha Neto**, tem como objetivo nesse estudo avaliar, conforme ensaios quem compõem o Protocolo do FBI, o comportamento balístico-terminal dos seguintes calibres: .38 SPL, .380 ACP, 9x19 mm, 40 SW, .45 ACP e 5,56 x 45 mm.

Por não satisfazer à condição de estudo experimental envolvendo animais pertencentes ao *filo Chordata* e *subfilo Vertebrado*, conforme diretriz do CONCEA - Lei nº 11.794 de 08/10/2008, declaramos que **NÃO COMPETE** à Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP emitir parecer acerca dos aspectos éticos relacionados a projetos de pesquisa dessa natureza.

Ribeirão Preto, 05 de julho de 2022

  
**Prof. Dr. Luiz Carlos Carvalho Navegantes**  
Coordenador da CEUA-FMRP-USP



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO  
 Departamento de Patologia e Medicina Legal




Solicitação de Dispensa ao Comitê de Ética



Eu, **João da Cunha Neto**, aluno de Mestrado do programa de Patologia Experimental, oferecido pelo Departamento de Patologia e Medicina Legal da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FMRP-USP), devidamente matriculado na pós-graduação sob o número USP 12304193, com projeto de pesquisa intitulado **"PERFORMANCE EM BALÍSTICA TERMINAL DE MUNIÇÕES DE USO POLICIAL: ANÁLISE BASEADA NO PROTOCOLO DO FBI"**, em anexo, sob orientação do Prof. Dr. João Paulo Mardegan Issa, venho por meio deste **SOLICITAR DISPENSA AO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DO HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DE RIBEIRÃO PRETO (CEP/HCFMRP)**, por este estudo não ter em sua metodologia o uso de seres humanos como participantes da pesquisa, direta ou indiretamente, sob qualquer circunstância. Trata-se de projeto de pesquisa que visa única e exclusivamente ao estudo do comportamento balístico-terminal de diferentes tipos de munição de uso policial, em materiais puramente sintéticos que simulam tecidos humanos (gelatina balística).

Atestando ser verdade o dito acima, assino e submeto esse pedido ao devido Comitê com cópia do projeto de pesquisa em anexo.

  
 \_\_\_\_\_

JOÃO DA CUNHA NETO

Não há necessidade de  
 Comitê de Ética em Pesquisa.



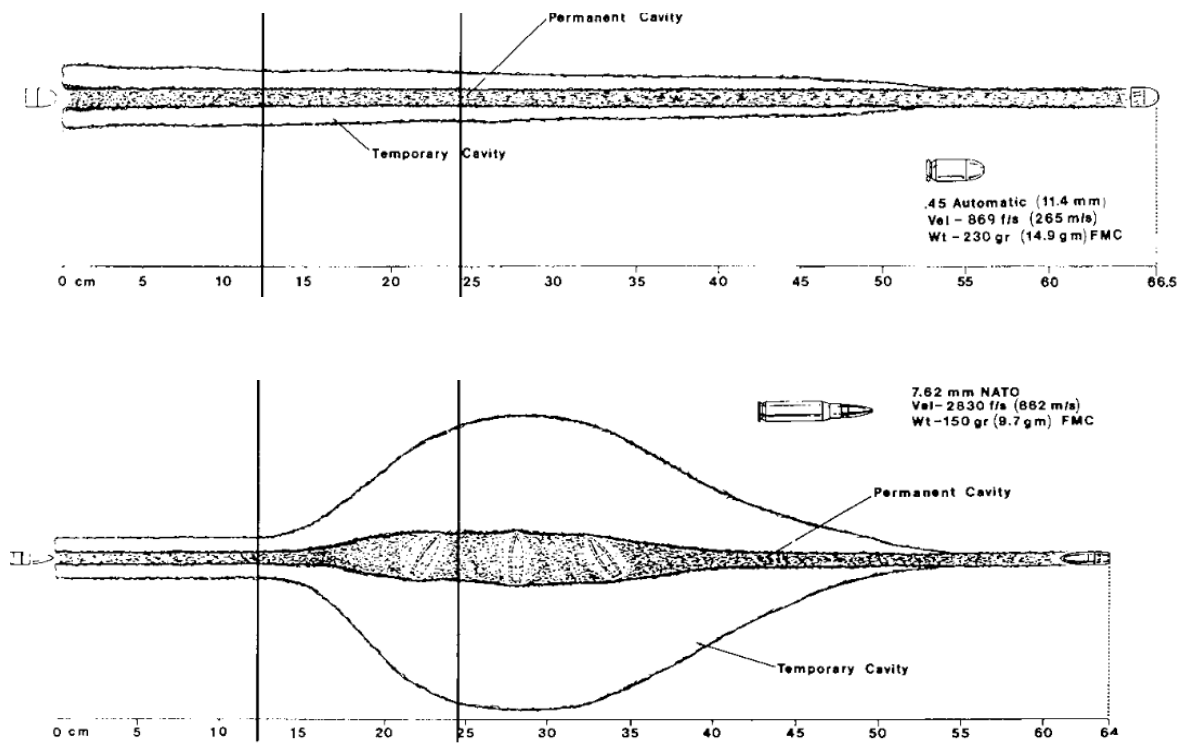
Dr. Marcia Guimarães Villanova  
 Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa  
 do HC e FMRP-USP

02/07/2022

Scanned with CamScanner



## ANEXO B - Perfis de lesão de projéteis de baixa e alta velocidade



Fonte: Fackler, 1995.