

## Bancada de testes de armas de fogo por acionamento remoto

M.B. Arakelian <sup>a,\*</sup>, A.M.D. Henriques <sup>a</sup>, C.A. Andrade <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília (DF), Brasil.

<sup>b</sup> Instituto de Criminalística, Polícia Civil do Distrito Federal, Brasília (DF), Brasil.

\*Endereço de e-mail para correspondência: [m.b.arakelian@gmail.com](mailto:m.b.arakelian@gmail.com). Tel.: +55-11-98321-8559.

Recebido em 18/01/2018; Revisado em 12/05/2018; Aceito em 03/06/2018

---

### Resumo

Anteriormente a execução do presente projeto, ou seja, julho de 2017, todos os testes de armas de fogo realizados na Seção de Balística Forense da Polícia Civil do Distrito Federal eram realizados manual e presencialmente. Considerando que, nem todas as armas de fogo e munições apreendidas possuem confiabilidade em sua integridade, o perito corria sérios riscos ao realizar os testes. No intuito de modificar esta situação, este trabalho teve o objetivo de projetar e construir uma bancada de testes para armas de fogo em que seu acionamento é feito de forma remota e segura. O projeto foi dividido em quatro etapas. Sendo a primeira etapa a de análise de alternativas e tomada de decisões, seguida pela etapa de dimensionamento, e, por fim, a fabricação e montagem da bancada de testes, assim como seus respectivos testes. Como resultado final, obteve-se uma bancada de testes operando com eficiência e segurança.

*Palavras-Chave:* Armas de Fogo; Balística Forense; Bancada Experimental; Disparo Remoto.

---

### Abstract

Prior to the execution of this project, in July 2017, all firearms tests carried out in the Forensic Ballistics Section of the Federal District Civil Police were carried out manually and in person. Considering that not all firearms and ammunition seized have reliability in their integrity, the expert was at serious risk in performing the tests. In order to modify this situation, this work aimed to design and build a test bench for firearms in which its activation is done remotely and safely. The project was divided into four stages. The first stage is the analysis of alternatives and decision-making, followed by the design stage, and finally, the fabrication and assembly of the test bench, as well as their respective tests. As a final result, it was obtained a test bench operating efficiently and safely.

*Keywords:* Firearms; Forensic Ballistics; Experimental Test Bench; Remote Trigger.

---

### 1. INTRODUÇÃO

A Balística Forense tem como objetivo investigar as armas de fogo, munições e os efeitos causados por elas no âmbito da Criminalística e da Medicina Legal. A balística é uma das ramificações estudadas na mecânica aplicada, cujo estudo pode se dividir em três partes: interior, exterior e de efeitos. A primeira parte situa-se nos eventos que ocorrem até o momento que o movimento do projétil se desenvolve no interior do cano. A segunda parte estuda a trajetória do projétil no espaço (entre a saída da boca do cano da arma e o impacto no alvo) e, por fim, a terceira dedica-se às ações e consequências do impacto do projétil no alvo [1].

Os peritos da Seção de Balística Forense (SBF) do Instituto de Criminalística da Polícia Civil do Distrito

Federal (PCDF) realizam, dentre outros, testes em armas de fogo e munições que são apreendidas relacionadas à prática de alguma infração penal. São realizados disparos em um tanque de água e/ou em um tonel com areia e estopa com a intenção de obter informações relevantes para cada caso, como a eficiência da arma de fogo e munições apreendidas e a recuperação de projétil e estojo para posterior confronto balístico. A SBF recebe algo em torno de quatrocentas solicitações de perícias a cada mês, sendo que desse volume, estima-se que menos de 10% esteja relacionado a armas de fabricação artesanal [2]. Os testes são realizados manualmente pelos peritos criminais tanto com a arma de fogo apreendida carregada com munição própria, quanto armas e munições apreendidas separadamente, como ilustra a Fig 1.



Figura 1. Ilustração do perito realizando o teste.

Quando a integridade da arma de fogo ou munição é duvidosa, é mais seguro que os testes não sejam realizados presencialmente. Isso pode acontecer quando a quantidade de pólvora foi alterada dentro do cartucho de munição ou quando a arma de fogo tem algum defeito de fabricação ou de manutenção, podendo até ambos terem sido fabricados artesanalmente.

Portanto, o objetivo deste projeto é obter uma bancada de testes para armas de fogo, que permita acionamento remoto do gatilho. A bancada de testes deverá ser universal, para comportar qualquer arma de fogo e ser utilizada em qualquer sala de testes. Assim, foi preciso estudar a energia de recuo da arma e determinar a força máxima que a estrutura deveria suportar. Com isso, foram propostas algumas estruturas possíveis para o dispositivo e foram feitas análises de esforços e rigidez. Além da estrutura, também foi projetado um sistema para que o disparo seja feito remotamente. Por fim, foi feita a fabricação da bancada e foram realizados testes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A primeira parte deste trabalho foi a contextualização do problema e, para isso, foi feita uma revisão bibliográfica para motivar e justificar a necessidade da construção de uma bancada de testes de armas de fogo em que seu acionamento fosse feito remotamente. O projeto foi dividido em quatro etapas, assim como é descrito por [3] na elaboração de um projeto de máquina. A primeira etapa foi a análise de alternativas e decisões, esta parte é chamada de projeto preliminar. A segunda etapa constituiu as seleções e dimensionamentos. Nesta seção, foram selecionados e dimensionados todos os componentes e sistemas da bancada de testes. O dimensionamento foi feito de acordo com a metodologia de cálculo disponível em [3] para se obter uma estrutura rígida. Esta parte do projeto é denominada projeto intermediário. O terceiro passo foi definir o método de fabricação, sua montagem e análise de custos, sendo

chamado de projeto de detalhamento. A quarta e última etapa é o desenvolvimento e serviço de campo, em que o protótipo foi produzido e foram colhidos dados para seu aperfeiçoamento e calibração.

## 3. DESENVOLVIMENTO

### 3.1. Contextualização

Uma arma de fogo pode ser definida como uma máquina térmica e diretamente comparada a um motor de combustão interna [4]. No motor à combustão interna e na arma de fogo há, em um momento exato, uma centelha que provoca a ignição do combustível. Nos dois casos, o trabalho mecânico de impulsão é produzido por uma explosão em espaço confinado e pressurizado. Apenas uma pequena parcela da energia liberada no processo é aproveitada para produzir trabalho útil e a outra parcela é perdida em dissipações. Em ambos os exemplos, o resultado da expansão dos gases gera um movimento retilíneo, tanto do pistão dentro do cilindro, quanto do projétil no cano da arma. A diferença é que no motor o movimento retilíneo do pistão se transforma em circular no virabrequim, em vez de ser expelido do sistema como o projétil na arma de fogo. Há sempre a necessidade de agentes externos aplicando forças para dar início ao funcionamento e nos dois processos comparados existe a possibilidade de uma repetição automática. O processo sempre se encerra quando acabam o combustível ou munição ou quando convém ao operador.

Ao observar a balística interna, nota-se que é essencial o entendimento da dinâmica envolvida no tiro. O tiro pode ser descrito em uma sequência de nove passos [5]. O primeiro passo é o que pode ser chamado de disparo. É a fase de energização do percutor, ou *firing pin* em inglês. Sua energização é feita pela transferência de energia cinética do martelo ou cão, após se acionar o gatilho, ou pode também ser feita pela liberação da mola comprimida em que está inserida a agulha percutora, em uma pistola, por exemplo.

Em seguida, esse instrumento percutor deforma o fulminante. O fulminante, ao se deformar, explode, expelindo gases e partículas quentes para a pólvora. Esses gases aumentam a pressão e temperatura dentro do estojo e isso faz com que o propelente comece a queimar.

A fase seguinte é dada pela queima da pólvora. A combustão gera um grande volume de gases quentes em expansão, o que rapidamente eleva a temperatura e pressão no estojo. Assim, o diâmetro do estojo aumenta e se prende firmemente nas paredes da câmara da arma, o que faz com que o estojo não se rompa. Quando a pressão no cartucho se eleva a aproximadamente 76 MPa, o projétil supera a tensão exercida pelo pescoço do estojo e é empurrado pelos gases através do cano. Após se deslocar alguns centímetros, o projétil encontra o raiamento do cano e começará a girar. Esse é o momento

em que ocorre a maior parte das perdas por atrito entre os gases e a parede do cano, cerca de 5% da energia total. Com o aumento do volume, já que o projétil começou a varrer o cano, a pressão diminui. Alguns tipos de pólvoras são queimados progressivamente enquanto o projétil percorre o cano, equalizando essa perda de pressão. Logo que o projétil sai do cano, os gases em alta pressão saem formando um jato com velocidade até uma vez e meia maior que a velocidade do projétil. Isso gera cerca de 30% do recuo da arma. Finalmente, a pressão do cano se iguala ao do ambiente e o estojo se contrai, desapegando das paredes do cano e podendo ser retirado. Apesar de acontecerem nove fases nesse processo, este ocorre em média em 0,003 segundos [5].

Como em toda combustão confinada, o regime de pressão é de grande importância para a análise de riscos. A Fig. 2 [6] mostra um gráfico da pressão dentro da alma do cano pelo decorrer do tempo de uma arma calibre 20 mm, considerando a velocidade do projétil de 2750 fps (838,2 m/s), massa do projétil de 0,29 lb (0,131 kg), massa de pólvora de 0,07 lb (0,031 kg) e comprimento do cano de 4,3 ft (1,31 m), e, assim, pode-se visualizar o regime de pressão durante um tiro. O calibre 20 mm é utilizado em canhões antiaéreos e antitanque, e, por isso, geram valores substancialmente altos, mas a física do problema é igual para armas de porte.

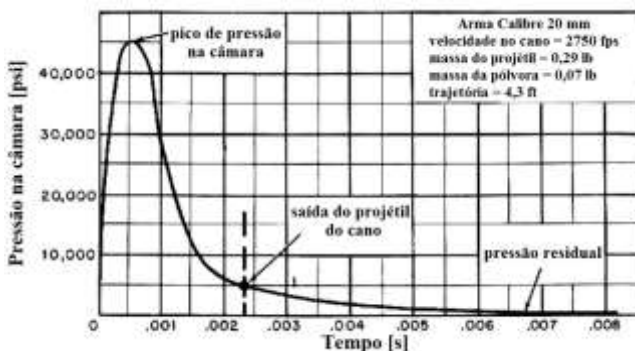


Figura 2. Regime de pressão [6].

A pressão máxima alcançada de 310 MPa (45000 psi) é aplicada a uma área de 0,00065 m<sup>2</sup> (0,5 in<sup>2</sup>) produzindo uma força de 201500 N. A Fig. 3 mostra esquematicamente a pressão dos gases de combustão agindo sobre a parede do cartucho que age sobre a parede da câmara da arma.

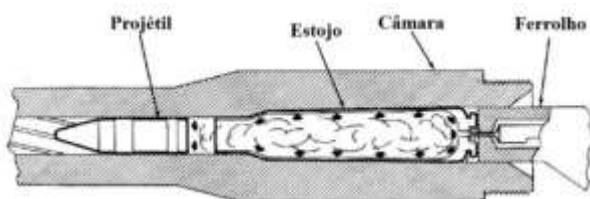


Figura 3. Ilustração do regime de pressão dentro da câmara e da alma do cano [6].

Assim, é possível perceber que qualquer alteração na estrutura da arma de fogo, como trincas e oxidações e na composição do cartucho, como excesso de pólvora, aumentam consideravelmente riscos de acidentes graves. Esse é o risco hoje de qualquer perito em Balística Forense no Brasil, em particular, na Polícia Civil do Distrito Federal.

O perito tem a função de testar as armas de fogo apreendidas, tanto teste para comparação de projéteis e estojos, atirando em um tanque de água, quanto para teste de eficiência, atirando em um tonel de areia. Como não se sabe a procedência das armas de fogo e munições, nos quesitos adulteração, manutenção e conservação, o perito corre um grande risco de que o sistema exploda durante os exames, podendo ferí-lo gravemente.

Logo, é fundamental que haja um dispositivo que suporte a arma de fogo e que realize o disparo remotamente para garantir a integridade do perito.

### 3.2. Energia de recuo livre

Para saber os esforços que a estrutura terá que suportar, deve-se primeiro determinar a força de reação do tiro. Para isso, a literatura fornece a energia de recuo livre, como mostra a equação retirada de [7]:

$$\text{Energia de Recuo Livre} = \frac{(W_1 V_p + 4700 W_2)^2}{64,348 W_g} \quad (1)$$

Em que:

- $W_1$  é a massa do projétil;
- $V_p$  é a velocidade do projétil na boca do cano;
- $W_2$  é a massa de pólvora;
- $W_g$  é a massa da arma.

A constante 4700 é a velocidade média dos gases de combustão da pólvora sem fumaça e 64,348 é a constante gravitacional multiplicada por dois [8]. A equação está na unidade inglesa, ou seja, a energia de recuo livre é expressa em ft-lbs, com a massa em lb e a velocidade em fps.

Para o sistema internacional de unidades, a Eq. 1 pode ser expressa por:

$$\text{Energia de recuo livre} = \frac{(m_b v_b + m_p v_p)^2}{2 m_g} \quad (2)$$

Em que:

- $m_g$  é a massa da arma;
- $v_g$  é a velocidade da arma;
- $m_b$  é massa do projétil;
- $v_b$  é a velocidade do projétil;
- $m_p$  é a massa de pólvora;
- $v_p$  é a velocidade da pólvora (dos gases produzidos pela queima dela).

Considerando o referencial do projétil, a energia de recuo livre é igual à força de recuo da arma “F” multiplicada pelo comprimento do cano “l”, e, portanto:

$$F = \frac{(m_b v_b + m_p v_p)^2}{2 l m_g} \quad (3)$$

Com isso, foi possível calcular a força atuante na estrutura da bancada de testes.

### 3.3. Projeto

Do projeto preliminar, decidiu-se que a maior arma a ser testada seria o rifle Barrett M107A1, cujo comprimento total é de 1450 mm. Decidiu-se também que a estrutura seria feita de tubos quadrados de aço estrutural e que as dimensões totais da bancada estariam limitadas as dimensões da sala de testes da Seção de Balística Forense da Polícia Civil do Distrito Federal, como mostra a Fig. 4. Para o disparo remoto, decidiu-se, inicialmente, usar um solenoide acionado por um conjunto de placa de rádio frequência e controle.

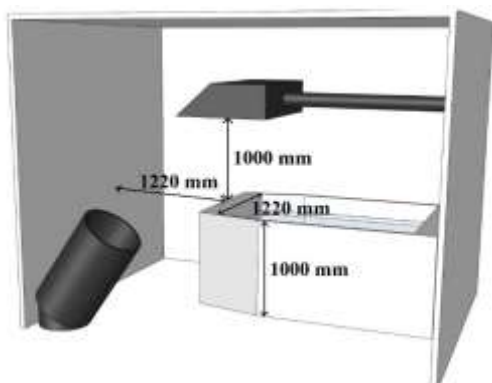


Figura 4. Ilustração em 3D das dimensões da sala de testes.

Em seguida, dimensionou-se, no projeto intermediário, a estrutura. Começou-se definindo semiquantitativamente um fator de segurança para o projeto, ou seja, de acordo com o que se pode prever, com o que já se sabe e com o que não se pode prever, definiu-se que as propriedades dos materiais utilizados seriam 3 vezes menor do que eles realmente suportam, agindo-se, assim, em prol da segurança. Além do fator de segurança, há também a condição de carregamento de impacto, já que a força atuante na estrutura é aplicada em um curto instante de tempo. Essa condição implica em dobrar os valores que se obteriam em um cálculo para uma condição estática. Determinado esses fatores, partiu-se para o projeto da estrutura em si. Nesta parte, usaram-se conceitos de resistência dos materiais para projeto de vigas, já que a estrutura é um conjunto delas. Cada viga está conectada a outra viga de alguma forma, podendo ela estar engastada apenas em uma extremidade, ou nas duas, ou podendo estar simplesmente apoiada. Para cada

situação, há uma forma de determinar a tensão e a deflexão de cada viga de acordo com a intensidade da força que está sendo atuada nela e em qual posição está sendo atuada. Collins [3] descreve cada uma destas situações, e, com base nelas projetou-se a estrutura da bancada de testes. A característica mais importante para a estrutura seria que ela fosse rígida o suficiente para aguentar os disparos, e, portanto, a estrutura foi projetada para ter baixas deflexões. Outra característica desejada para o dispositivo foi que nele houvesse regulagem de altura e inclinação para se realizarem testes tanto no tanque de água quanto no tonel com areia. A Fig. 5 mostra o resultado final do dimensionamento feito no programa Solidworks® com base nos cálculos de projeto.



Figura 5. Estrutura com vista explodida.

Em cima da mesa, fixou-se um trilho sobre o qual corre o suporte da arma. Assim, pode-se testar armas curtas e longas na mesma bancada, tornando-a universal. Projetou-se também um sistema de alavanca acoplado a um sistema de rodízios para que se pudesse locomover a estrutura. A Fig. 6 ilustra a bancada posicionada na sala de testes de referência.



Figura 6. Ilustração do dispositivo alocado na sala de testes.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o dimensionamento feito, levou-se os desenhos de fabricação para uma empresa especializada em estruturas metálicas para que fosse fabricado o protótipo. A Fig. 7 mostra o resultado da fabricação.





**Figura 7.** Bancada de testes montada.

Após a construção do protótipo, ele foi levado para a Seção da Balística Forense e realizaram-se vários ensaios de tiro real com diferentes armas de fogo e munições, como mostram as Fig. 8-11.



**Figura 8.** Dispositivo montado.



**Figura 9.** Teste com revólver em ação dupla.



**Figura 10.** Teste com pistola em ação simples.



**Figura 11.** Teste com fuzil AR-15.

Com exceção do teste da Fig. 9, que foi um teste apenas com a espoleta para observar de perto a ação do dispositivo de disparo remoto, todos os testes foram feitos fora da sala de testes. Provando, então, a eficiência da placa de rádio frequência. Analisando os vídeos quadro por quadro no momento do tiro, não se observou nenhuma deflexão da estrutura.

Obteve-se, portanto, um resultado satisfatório para a bancada de testes, em que se realizou o disparo das armas de fogo remotamente tanto em ação simples como em ação dupla, para armas curtas e longas. Não houve qualquer movimentação da bancada durante os testes mesmo com os rodízios acionados. A arma de fogo também não saiu de sua posição de fixação após o tiro.

Notou-se, porém, que poderiam ser feitas modificações para melhorar a ergonomia do projeto, adequando-se também ao procedimento padrão de testes de armas de fogo [9].

Projetou-se, então, um suporte para a arma de fogo com um anteparo fixo e uma placa de aperto móvel. Outra modificação foi a substituição do solenoide por um atuador linear, pois o curso de 22 mm do solenoide se mostrou insuficiente para algumas armas de fogo, sendo que o atuador linear possui um curso de 100 mm. Para esse novo dispositivo que realiza os disparos, fez-se um eixo em aço inox que faz a conexão entre o atuador e o gatilho da arma de fogo, simulando o dedo que puxa o gatilho, e, este, pode ser acoplado e desacoplado do gatilho, conferindo maior segurança ao operador que um “dedo” fixo na posição de disparo. Assim, adequando-se ao procedimento padrão de testes de armas de fogo [9], em que a última etapa é colocar o dedo no gatilho para disparar a arma de fogo. A Fig. 12 mostra a nova versão projetada.

Com o novo suporte fabricado, realizaram-se inúmeros testes para verificar o protótipo. As Fig 13-16 ilustram algumas imagens feitas nesta etapa.

Mesmo melhorada a ergonomia da bancada, algumas armas de fogo necessitam duas pessoas para montar o teste.



Figura 12. Novo suporte da arma.



Figura 13. Verificação da provável trajetória do projétil.



Figura 14. Teste com carabina de calibre .357 Magnum.



Figura 15. Teste com espingarda calibre 12 Ga.



Figura 16. Recuo no teste com espingarda calibre 12 Ga.

Nota-se o elevado recuo após o tiro no teste com o calibre 12 Ga da Fig. 16, mas a estrutura conseguiu suportar o experimento.



Figura 17. Teste com uma pistola de calibre 9 mm Luger.



Figura 18. Teste com revólver calibre .38 SPL.

Os novos testes foram realizados no tonel com areia e estopa, provando também que a bancada de testes é extremamente versátil e possui a mobilidade exigida nos objetivos iniciais.

Deve-se ressaltar, ainda, que não foram observadas movimentações significativas da arma em relação ao seu ponto de fixação, o que demonstra que a nova estrutura projetada para a fixação da arma e do atuador linear apresentou resultados conforme esperado. Considerando-se a natureza dos materiais que constituem a bancada de testes, bem como a baixa frequência estimada para o uso

do equipamento (frente à pequena demanda de exames periciais que requerem disparo remoto por medida de segurança), o ponto mais sensível – e que demandará substituição ao longo da vida útil do equipamento – é o componente eletromecânico, seja o solenoide ou mesmo o atuador linear finalmente adotado. A vida útil do atuador linear utilizado é de 50 mil ciclos, segundo seu fabricante.

Os resultados obtidos com as melhorias foram satisfatórios, agilizando os exames e obtendo maior segurança na montagem da arma de fogo na bancada. A nova versão, portanto, comporta armas de fogo de calibres, tamanhos e configurações variadas, assim como consegue puxar qualquer configuração de gatilho, seja de curso longo ou curto, seja de intensidade leve ou pesada.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final deste trabalho, foi possível ter uma visão do quão arriscado é o teste presencial de armas de fogo feito pelos peritos em balística forense, quando armas e munições artesanais ou de integridade duvidosa são levadas em consideração. Portanto, os cálculos e as escolhas tomados neste trabalho foram feitos de forma conservadora, visando à segurança das pessoas e à integridade das instalações físicas, já que se trata de armas com potencial letal. A bancada de testes foi dimensionada para comportar armas de fogo de diferentes tamanhos, conformações e calibres. Tentou-se ao máximo deixar o projeto puramente mecânico, e a única parte eletrônica foi o acionamento remoto, que, no intuito de prevenir falhas e/ou interferências enquanto se manipulam as armas de fogo na bancada, projetou-se uma haste para puxar o gatilho que pudesse ser desacoplada neste momento crucial. Por fim, foram feitos os desenhos de fabricação, gerados orçamentos do produto em empresas especializadas com sede no Distrito Federal e feita a fabricação, assim como realizados testes na bancada. Com os objetivos alcançados ao fim do trabalho, espera-se que

a bancada de testes de armas de fogo por acionamento remoto atenda integralmente a Polícia Civil do Distrito Federal, e, futuramente, que todas as instituições policiais brasileiras que se interessarem na proposta tenham acesso ao dispositivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Peritos em Criminalística Ilaraine Acácio Arce – FPCIAA e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal - FAP/DF pelo apoio financeiro, por meio do Convênio no 001/2014 (Processo: 193.000.001/2014, publicado no DODF do dia 19/08/2014), que tornou possível a execução deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Tochetto. *Tratado de Perícias Criminalísticas – Balística Forense*. 1. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1999.
- [2] C.A. Andrade. *Relatório de Gestão da Seção de Balística Forense – SBF*, 2017.
- [3] J.A. Collins. *Projeto mecânico de elementos de máquinas: uma perspectiva de prevenção de falha*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- [4] E. Rabello. *Balística forense*. 4. ed. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto, 1995.
- [5] M. Bussard et al. *Ammo encyclopedia*. 4. ed. Minneapolis: Blue Book Publications, 2012.
- [6] G.M. Chinn. *The machine gun - volume IV*. 1. ed. Bureau of Ordnance, Department of Navy, 1955.
- [7] T.J. Griffin. *Reloading handbook*. 48. ed. Middleton: Lyman Products Corp, 2002.
- [8] S. Fadala. *The complete blackpowder handbook*. 5. ed. Iola: Krause publications, 2006.
- [9] Seção de Balística Forense. *Procedimento Operacional Padrão 03 – Procedimentos de Segurança*. Brasília: PCDF, 2012.