

# OTIMIZAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARMAS DE FOGO CURTAS MEDIANTE MODELAGEM ESTATÍSTICA

**G. I. Kotinda, J. A. F. Borges, R. R. Pinto Filho**

Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia  
Av. João Naves de Ávila, 2160, Bloco 1M, Uberlândia MG, CEP: 38.400-089.

**Palavras chaves: Otimização, armas de fogo, modelagem estatística**

## RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia para a otimização da configuração de recargas de uma pistola 45 mm tendo com objetivo reduzir o grupamento (i.e., a dispersão entre as posições das impressões num alvo) de uma série de disparos. Este grupamento é resultante da vibração do cano da arma, que pode ser descrito através de uma onda senoidal tridimensional.

Os atiradores sabem que em uma certa faixa de velocidade do projétil, obtém-se um menor grupamento. Os recarregadores chamam esta faixa de nó harmônico, ou seja é a faixa de velocidade onde “ponta do cano” apresenta o menor deslocamento. Para determinadas armas é possível encontrar mais de um nó.

De forma geral, a otimização pode ser entendida como sendo um conjunto de algoritmos matemáticos que operam no sentido de encontrar os extremos de uma função objetivo. Esta função pode ser definida com o uma expressão matemática estabelecida de forma a representar as características cuja melhoria é almejada.(Borges, 1999).

Segundo Ristow ([www.shootingsoftware.com](http://www.shootingsoftware.com)), a velocidade do projétil é influenciada pelas seguintes variáveis: quantidade de pólvora, tipo de pólvora, marca do projétil, peso do projétil, formato do projétil, profundidade de assentamento do projétil, marca da espoleta, profundidade da espoleta, espessura da espoleta.

Para avaliar o desempenho das configurações dos cartuchos foram selecionadas respostas de interesse, sendo elas: grupamento dos tiros, velocidade do projétil, energia de impacto.

A técnica de meta-modelagem por superfície de resposta consiste em se obter equações matemáticas (meta-modelos), geralmente polinômios lineares ou quadráticos, que representam o comportamento físico de um sistema mecânico (massa, forças, tensões, frequências naturais) em um certo espaço de projeto. Estas equações analíticas são utilizadas como função objetivo e funções de restrição, tornando a otimização econômica em termos de tempo e custo experimentais.

Uma ferramenta para a obtenção dos meta-modelos é o planejamento experimental (Montgomery, 1996). Este consiste da elaboração de uma série de experimentos capazes de amostrar um espaço de projeto de forma representativa.

Isto é obtido através da combinação de vários experimentos onde as variáveis de projeto sofrem variação de modo a formar um conjunto pontos linearmente independentes, reduzindo assim a quantidade de experimentos a serem realizados para obter as superfícies de resposta (meta-modelos).

Inicialmente utiliza-se um planejamento fatorial a 2 níveis ( $2^k$ ) ou planejamentos compactos (de baixa resolução) para determinar quais variáveis de projeto são significativas, ou seja, quais delas efetivamente apresentam influência sobre as respostas de interesse. Através da análise da significância pode-se eliminar algumas das variáveis diminuindo o tempo e o custo computacional nas etapas subseqüentes. O planejamento fatorial a 2 níveis também é capaz de fornecer superfícies de respostas lineares que podem ser utilizadas na otimização, quando bem ajustadas.

Butkewitsch (2002) recomenda a utilização de planejamento composto central (PCC) como uma forma eficiente de representar relações funcionais quadráticas. Sua construção é simples: tratam-se de experimentos fatoriais fracionários em dois níveis, com pontos experimentais adicionais nos quais um dos fatores é avaliado em pontos extremos de sua faixa de variação (geralmente denotados  $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ), enquanto os demais são mantidos no nível médio (código 0). Isto implica que todas as variáveis são avaliadas em cinco níveis (o que torna possível a construção de modelos não-lineares), e o número total de experimentos para  $n$  variáveis de projeto é  $2^{n-1} + 2 \cdot n + n^*$ . A parcela  $2^{n-1}$  corresponde a um experimento fatorial fracionário a dois níveis. Já o termo  $2 \cdot n$  representa as avaliações de cada um dos  $n$  termos duas vezes, respectivamente nos extremos  $-\alpha$  e  $+\alpha$ . Finalmente, o termo  $n^*$  indica o número de replicações no centro do experimento PCC (todos os fatores no nível 0, ou seja, no ponto médio entre as restrições laterais inferiores e superiores).

Através da análise da variância (ANOVA), pode-se verificar o grau de ajuste ( $Ra^2$ ) das superfícies de respostas obtidas pela interpolação das respostas encontradas nos planejamentos experimentais. As equações que melhor explicam a variabilidade dos dados amostrados são utilizadas como função objetivo e funções restrição.

Segundo Vanderplaats (1998) um problema numérico de otimização pode ser definido da seguinte maneira:

Minimizar:

$$F(X)$$

Função Objetivo

Sujeito à:

$$g_j(X) \leq 0$$

$$j = 1, m$$

Função Restrição de Desigualdade

$$h_k(X) = 0$$

$$k = 1, l$$

Função Restrição de Igualdade

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u$$

$$i = 1, n$$

Restrição lateral

Sendo:

$$X = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{Bmatrix}$$

Variáveis de Projeto

No estudo em questão o objetivo é reduzir o grupamento de tiros respeitando a velocidade e energia de impacto (restrições), obtendo assim uma melhor performance em competições.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BUTKEWITSCH, S.; 2002; “Projeto Ótimo Robusto Multi-Disciplinar Mediante Experimentos Computacionais: Uma Contribuição à Segurança Veicular” ”; Tese de Doutorado; Universidade Federal de Uberlândia.

LEAL, M. F.; 2001; “Otimização do Comportamento Dinâmico de Veículos Usando Superfícies de Resposta”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.

BORGES, J.A.F.; 1999; “Dinâmica de Veículos Articulados: Simulação Computacional, Otimização e Ensaios Experimentais”; Tese de Doutorado; Universidade Federal de Uberlândia.

MONTGOMERY, D.C.; 1996; "Design and Analysis of Experiments"; John Wiley & Sons; New York; USA; 672p.

VANDERPLAATS, G.N.; 1998; "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design"; VR&D Inc.; Colorado Springs; CO; USA; 417p.

Ristow, J – <http://www.shootingsoftware.com>