

Simulação de Arma Automática

*André Luiz Tenório Resende**
*Clodio Alberto Pastro Sarzeto**

1. INTRODUÇÃO

As armas automáticas podem ser consideradas como sendo sistemas multicorpos sujeitos às forças geradas pela ação dos gases durante a queima do propelente. Neste trabalho procurou-se obter um modelo matemático simplificado para simulação de movimento plano de uma metralhadora portátil calibre 9 mm, com o objetivo de avaliar a influência dos parâmetros de projeto e dos esforços reativos que ocorrem durante o tiro, considerando a arma com sujeição rígida ao banco de provas [1]. As equações da dinâmica são formuladas através de método variacional com utilização do número máximo de coordenadas e do Teorema dos Multiplicadores de Lagrange. Acrescendo às equações algébricas de restrição, que representam matematicamente as juntas físicas do sistema multicorpos, obtém-se um sistema misto de equações diferenciais e

algébricas que é integrado numericamente segundo um algoritmo de partição de variáveis. Os dados para os exemplos numéricos se referem a uma metralhadora marca Beretta [2].

2. MODELO MATEMATICO

O sistema misto de equações diferenciais e algébricas pode ser escrito em forma matricial [3] como

$$\begin{bmatrix} M & \Phi_q^r \\ \Phi_q & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q^A \\ \gamma \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

em que as submatrizes M e Φ_q representam, respectivamente as propriedades inerciais e a jacobiana das restrições cinemáticas, q é o vetor das coordenadas generalizadas, λ é o vetor dos multiplicadores de Lagrange, associado às forças internas, Q é o vetor que representa a força dos gases e γ é um vetor dependente das velocidades e coordenadas generalizadas.

*Departamento de Engenharia Mecânica e de Materiais – Instituto Militar de Engenharia.

A metralhadora é representada pelo modelo simplificado da Fig 1

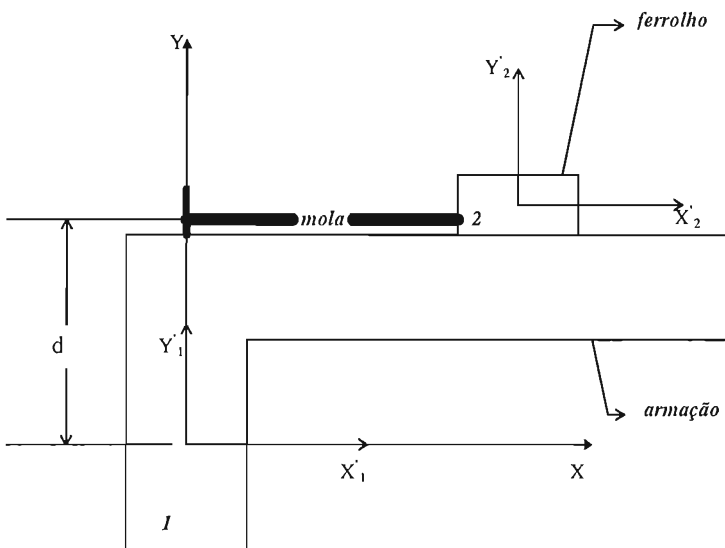


Figura 1 – Modelo simplificado da metralhadora

em que a peça dois representa o ferrolho e a peça um representa a armação. A armação é fixada ao sistema inercial por tres restrições absolutas de posição e o ferrolho é ligado à armação por uma restrição de deslizamento relativo. No final do recuo e na altura da câmara são utilizados elementos de parada [4] do tipo mostrado na Fig 2, em que o coeficiente de rigidez da mola é alto e que atua em paralelo com a mola recuperadora em sentido contrário ao deslocamento no fechamento da câmara.

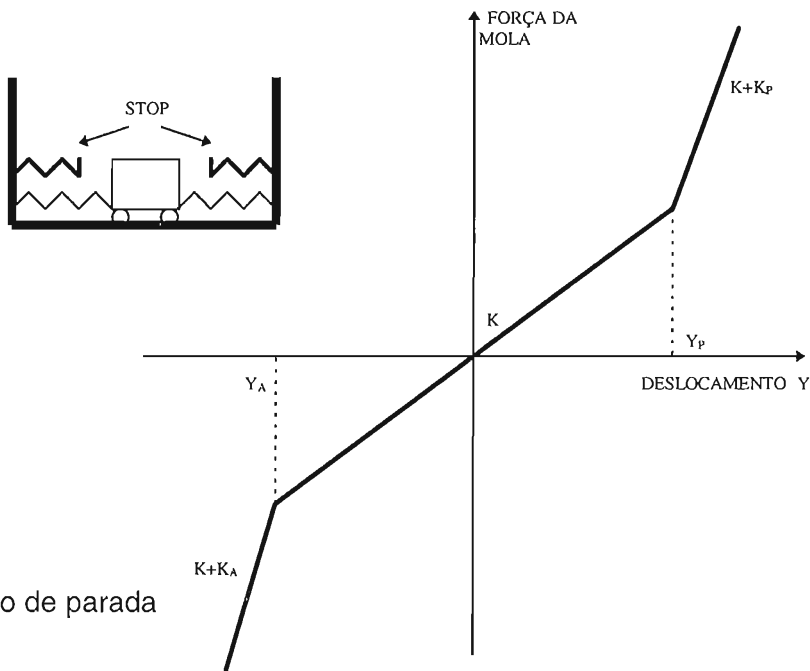


Figura 2 – Elemento de parada

As restrições cinemáticas, suas jacobianas e termos independentes γ são expressas pelas seguintes relações:

- restrição absoluta de posição na direção X

$$\Phi^{ax(i)} = x_i + x_i^p \cos \phi_i - y_i^p \sin \phi_i - c_1 = 0$$

$$\Phi_{q_i}^{ax(i)} = [1, 0, -x_i^p \sin \phi_i - y_i^p \cos \phi_i]$$

$$\gamma^{ax(i)} = (x_i^p \cos \phi_i - y_i^p \sin \phi_i) \dot{\phi}_i^2$$

- restrição absoluta de posição na direção Y

$$\Phi^{ay(i)} = y_i + x_i^p \sin \phi_i + y_i^p \cos \phi_i - c_2 = 0$$

$$\Phi_q^{ay(i)} = [0, 1, x_i^p \cos \phi_i - y_i^p \sin \phi_i]$$

$$\gamma^{ay(i)} = (x_i^p \sin \phi_i + y_i^p \cos \phi_i) \dot{\phi}_i^2$$

- restrição absoluta de orientação

$$\Phi^a \phi^{(i)} = \phi_i - c_3 = 0 \quad (c_3 = \text{constante})$$

$$\Phi_q^{ay(i)} = [0, 0, 1]$$

$$\gamma^a \phi^{(i)} = 0$$

- restrições de deslizamento relativo

$$\Phi^{(i,j)} = \begin{bmatrix} (V_i^\perp)^T d_{ij} \\ (V_i^\perp)^T V_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_i^T R^T A_i^T (r_j + A_j s_j^p - r_i - A_i s_i^p) \\ -V_i^T B_{ij} V_j \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} V_i^T B_i^T (r_j - r_i) - V_i^T B_{ij} s_j^p + V_i^T R^T s_i^p \\ -V_i^T B_{ij} V_j \end{bmatrix} = 0$$

$$\Phi_{q_i}^{(i,j)} = \begin{bmatrix} -V_i^T B_i^T, -V_i^T A_i^T (r_j - r_i) - V_i^T A_{ij} s_j^p \\ 0, -V_i^T A_{ij} V_j \end{bmatrix}$$

$$\Phi_{q_j}^{(i,j)} = \begin{bmatrix} V_i^T B_i^T & , & V_i^T A_{ij} s_j^P \\ 0 & , & V_i^T A_{ij} V_j \end{bmatrix}$$

$$\gamma^{(i,j)} = - \left[\frac{V_i^T \left[B_{ij} s_j^P (\phi_j - \phi_i)^2 - B_i^T (r_j - r_i) \phi_i^2 - 2 A_i^T (\dot{r}_j - \dot{r}_i) \phi_i \right]}{0} \right]$$

Substituindo as relações anteriores na equação 2.1 e utilizando a curva de pressões , mostrada na Fig 3 , como geradora da força externa na direção X

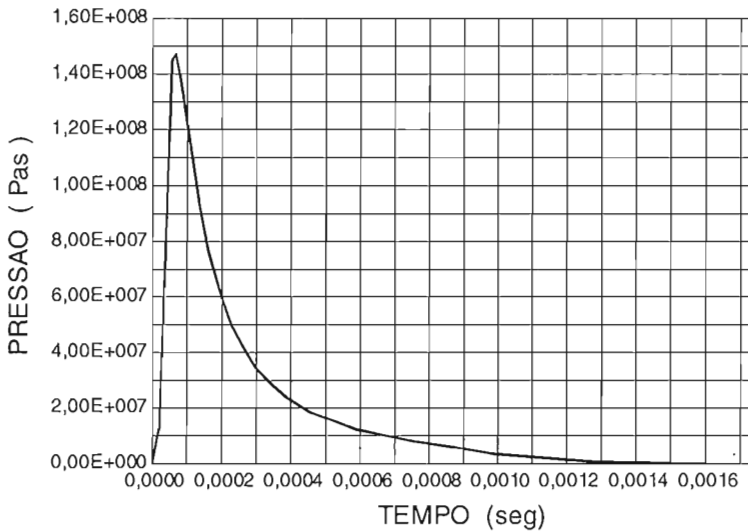


Figura 3 – Curva de pressões no interior do cano

obté-m-se um sistema de equações composto por seis equações diferenciais relativas ao equilíbrio de forças generalizadas, que envolvem as coordenadas, suas derivadas e os multiplicadores de Lagrange e cinco equações algébricas relativas às restrições cinemáticas e que envolvem as coordenadas e suas derivadas.

3. SOLUÇÃO NUMÉRICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O sistema obtido tem onze equações e onze incógnitas e tem apenas um grau de liberdade, que foi escolhido com sendo a coordenada x do ferrolho. Para a integração numérica foi utilizado um algoritmo de partição de variáveis [5] em dependentes u e independentes v, no caso a coordenada x do ferrolho. Os resultados principais são mostrados a seguir.

A Fig 4 mostra o gráfico de aceleração do ferrolho a partir do instante inicial do tiro até o fechamento da câmara.

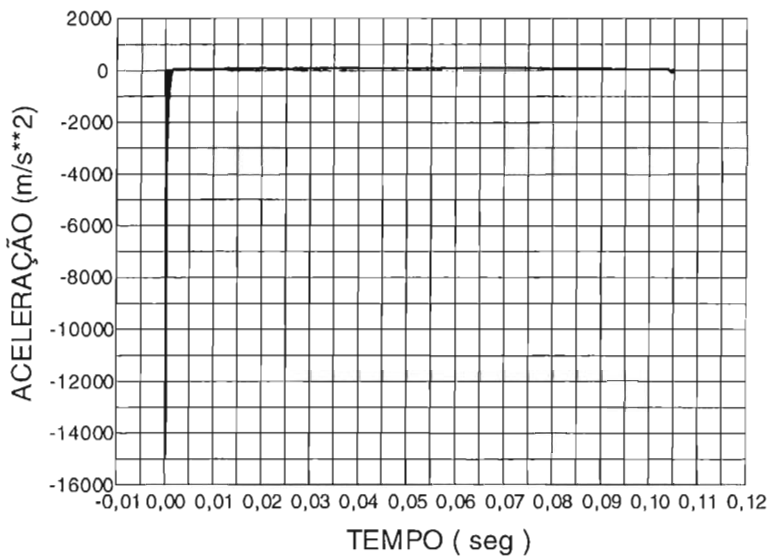


Figura 4 – Aceleração do ferrolho

Como a ordem de grandeza das acelerações na fase da ação dos gases não é a mesma da fase da ação da mola recuperadora, mostra-se, para maior clareza, nas fig. 5 e 6 estas duas fases.

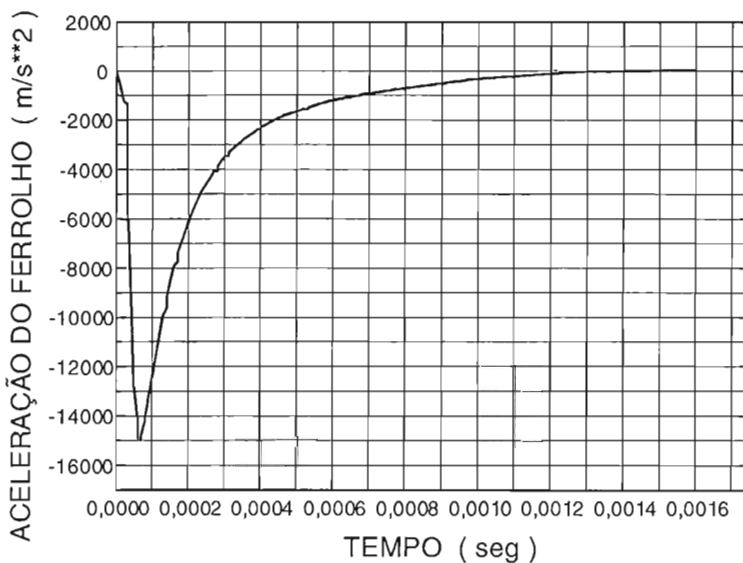


Figura 5 – Aceleração do ferrolho durante a ação dos gases

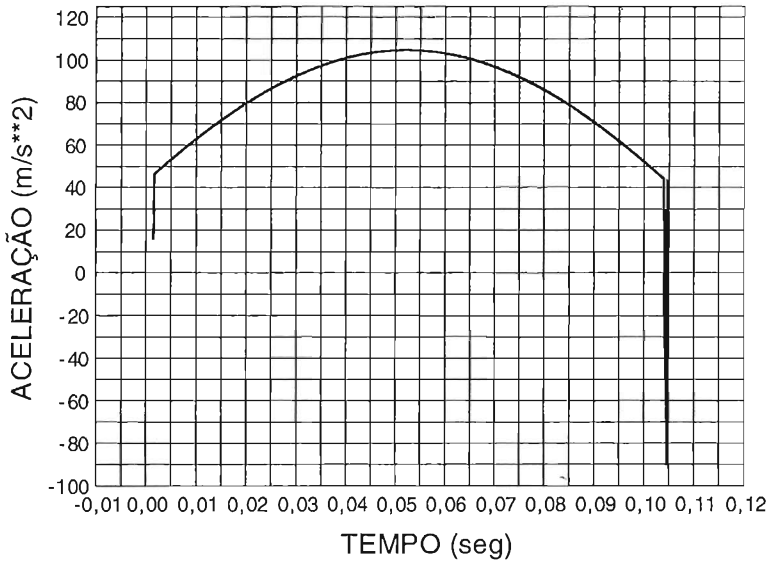


Figura 6 – Aceleração do ferrolho após a ação dos gases

A fig 7 mostra o deslocamento do ferrolho

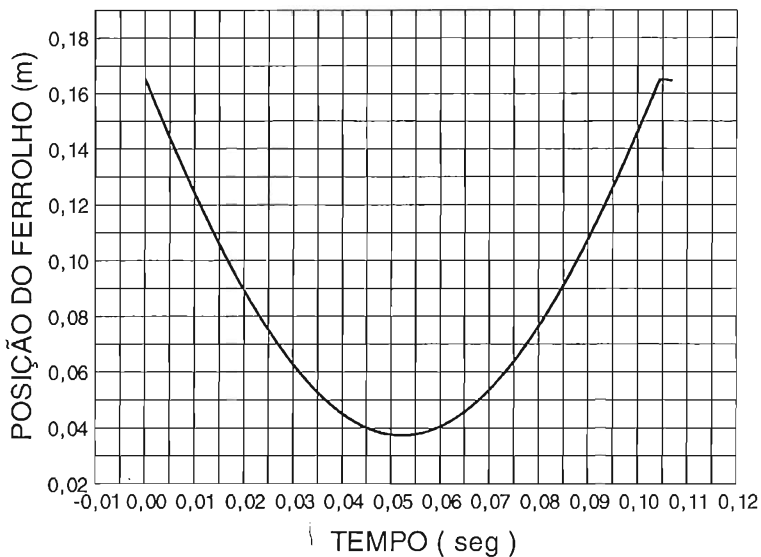


Figura 7 – Deslocamento do ferrolho

A fig 8 mostra a velocidade do ferrolho, que, como era esperado, sofre uma descontinuidade no início do movimento de recuo devido à natureza praticamente impulsiva da força devida à pressão dos gases, o mesmo acontecendo pela ação do elemento de parada

no retorno do ferrolho. Pode-se também observar que no final do recuo o elemento de parada não atua.

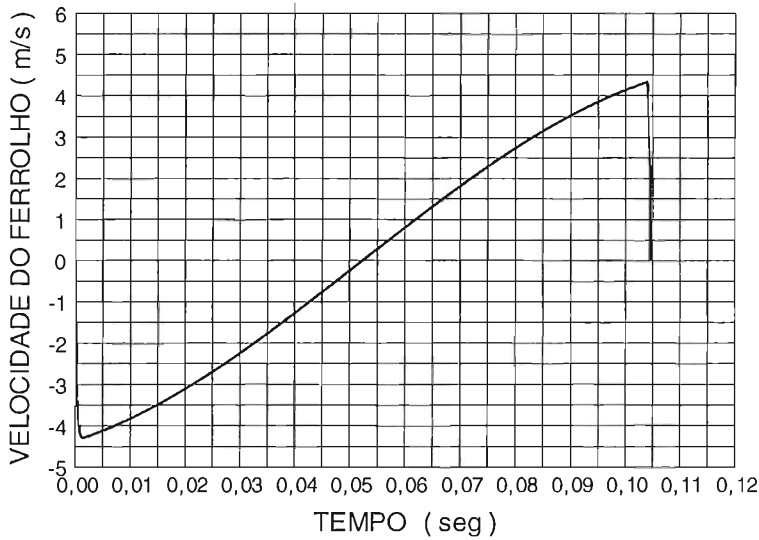


Figura 8 – Velocidade do ferrolho

A fig 9 mostra um ciclo da posição estimada do ferrolho para um tiro completo a partir da posição arma engatilhada.

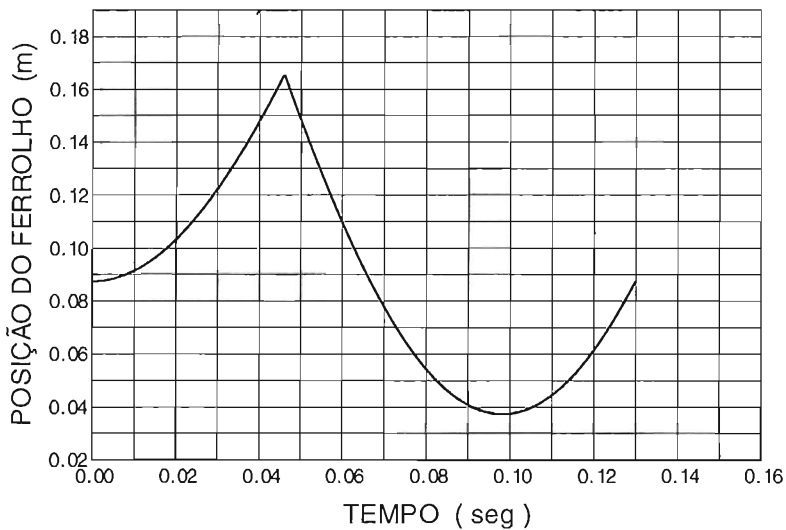


Figura 9 – Ciclo completo do tiro, posição do ferrolho

São mostradas ainda as curvas de variação dos esforços do apoio na arma, na fig 10 a força e na Fig 11 o momento.

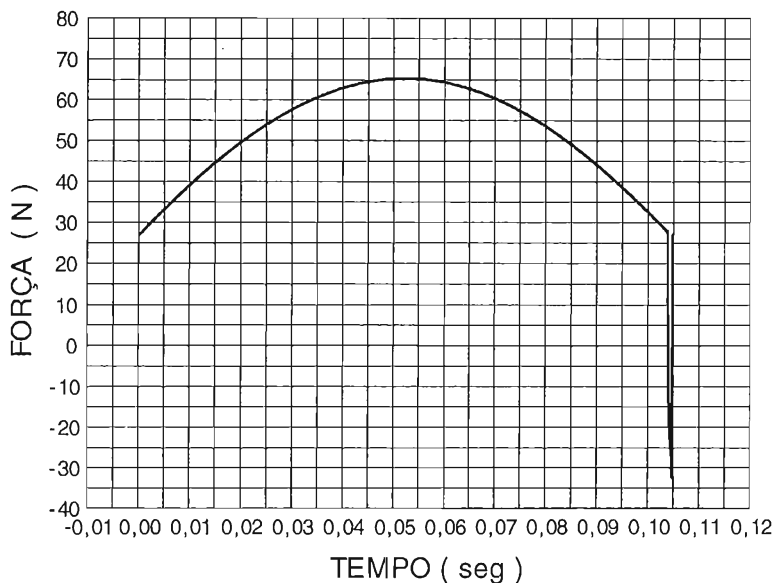


Figura 10 – Força na direção X

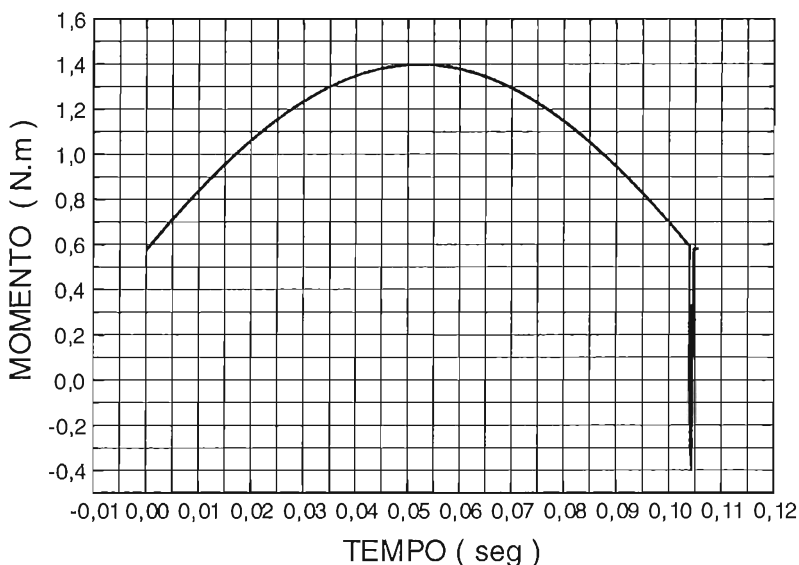


Figura 11 – Momento no apoio da arma

Os resultados obtidos para este modelo simplificado são coerentes com o que se espera do comportamento de uma arma deste tipo sendo também comparáveis com os obtidos por

outro método [6] e devem ser encarados como uma avaliação qualitativa, mas mesmo assim o modelo pode ser considerado um auxiliar para definição aproximada de parâmetros e previsão de desempenho na fase de projeto ou para análise de sistemas já construídos. A vantagem desta técnica de modelagem é sua relativa simplicidade e versatilidade, podendo facilmente incluir outros efeitos físicos e ser estendida para modelos tridimensionais.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. REZENDE, A L T, *Avaliação de Esforços Reativos em uma Arma Automática*, Projeto Final de Curso, 1996
2. Manual Técnico – Metralhadora de Mão M972 “BERETTA” – Ministério do Exército
3. HAUG, Edward J. *Computer Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems – Volume I: Basic Methods*. Allyn and Bacon editor, Needham Heights, Massachusetts, 1989.
4. LEVY, Samuel & WILKINSON, John P. D. *The Component Element Method in Dynamics*. Editora McGraw-Hill, USA, 1976.
5. MORGADO DE GÓIS, J. A., *Implantação de Algoritmos de Equações Diferenciais-Algébricas*. Iniciação à Pesquisa, IME, 1994.
6. AMCP 706-260. *Small Arms*. Headquarter, US Army Material Command, 1964