

Vulnerabilidade de motor-foguete a propelente sólido em relação ao impacto balístico (Arma de Fogo)

Ronei Ramos Monteiro -Maj. Inf, Koshun Iha e José Atílio Fritz Fidel Rocco

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA – Praça Mal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – São José dos Campos – SP CEP12228-900.

Resumo — Este trabalho apresenta uma avaliação da susceptibilidade às reações de detonação, explosão, deflagração ou queima de motores-foguete a propelentes sólidos do tipo compósito e base dupla, na qual os mesmos com 70mm de diâmetro foram submetidos a testes de impacto balístico com objetivo de avaliar a sua vulnerabilidade.

Palavras-chave — Sistema Bélico Ar-Terra 70mm (SBAT-70mm); Munição insensível (IM); Base-Dupla (BD); MIL-SDT-210C (Norma Padrão Militar-210C); Impacto Balístico (IB), Artilharia Antiaérea (AAAe); Base-Tripla (BT); Base-Simples (BS); Polibutadieno Líquido Hidroxilado (HTPB); Cloreto de Polivinila (PVC); Perclorato de Amônia (AP); Transição de Deflagração para Detonação (DDT).

1. INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

Na Força Aérea Brasileira, aeronaves em configuração de combate empregam o sistema bélico ar-terra, designado como SBAT-70mm onde o motor-foguete pode ser carregado com propelente sólido tipo BD (base-dupla) e, também, Compósito na propulsão destes mesmos artefatos bélicos em operações do tipo exercício inerte, antipessoal, anticarro e flechetes.

As aeronaves de asas rotativas cumprem diversas missões, dentre elas operações de busca e salvamento, transporte de tropas, e até missões de ataque ao solo. Os UH-1H são empregados em todas estas missões no cotidiano da FAB.

Para a missão de ataque ao solo a aeronave UH-1H é configurada com o SBAT-70mm, conforme mostra a Figura 1.1.



Figura 1.1- Sistema Bélico Ar-Terra 70mm, montado na aeronave de asas rotativas UH-1H.

Estas aeronaves adentram territórios inimigos no cumprimento de missões específicas ficando sujeitas ao fogo da AAAe inimiga.

A artilharia antiaérea dos países que fazem fronteiras com o Brasil emprega, entre outros, armamentos antiaéreos como a metralhadora Browning M2 de calibre 0.50 “.

Caso algum projétil atinga o artefato bélico (SBAT-70mm), instalado na área externa da aeronave, o mesmo poderá desenvolver uma ou mais reações: explodir, detonar ou deflagrar, colocando em risco não só a aeronave como também toda tripulação.

O estudo de vulnerabilidade de motores-foguete é objeto de grande preocupação em países como a França, dentre outros. Nestes estudos, as ameaças básicas a serem consideradas são impacto balístico, brusca variação de temperatura e detonação por simpatia dos motores-foguete [1]. Um novo cenário foi identificado e confirmado pela ocorrência de fenômenos envolvendo impacto balístico. Este cenário implica no tipo de propelente sólido e sua geometria de grão.

Historicamente, o tubo motor-foguete tem sido construído de liga metálica de alta resistência. Entretanto, a reação do tubo motor-foguete de material compósito aos estímulos da munição insensível (IM) tem aumentado o interesse no emprego destes materiais como “case” do motor foguete principalmente de propulsores de mísseis táticos.

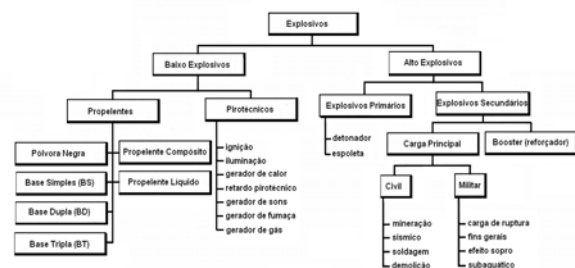
A maioria dos sistemas convencionais emprega tubos motores-foguete de aço que não absorve a energia contida no impacto balístico. Recentes pesquisas indicam que o emprego do tubo motor-foguete de material compósito quando carregado com propelente sólido tem sua sensibilidade reduzida aos estímulos por impactos balísticos.

1.2 Motivação

O COMGAP, sob o comando do Ten.-Brig.-do-Ar JUNITI SAITO, remeteu ao DEPED, por meio do 1º Despacho nº 3/4EM/008, de 09 de janeiro de 2004, o Ofício nº 21/TMB/1465, de 30 de dezembro de 2003, coligido pela DIRMAB, na qual propôs um estudo aprofundado que resultasse em um parecer conclusivo sobre a vulnerabilidade à corrosão pela queima do propelente sólido tipo BD e compósito dos motores-foguete de aviação, tendo em vista a polêmica estabelecida entre os fabricantes destes motores que empregam BD ou compósito como propelente sólido.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS EXPLOSIVOS (PROPELENTES)

A forma tradicional de classificação de explosivos é apresentada no diagrama abaixo:



Motores-foguete que empregam propelente sólido na propulsão de artefatos bélicos, de agora em diante referenciado como SBAT 70 neste trabalho [2], podem ser classificados como baixo explosivo. Baixos e altos explosivos são caracterizados, entre outros parâmetros, pela sua velocidade de decomposição e, também, suas características de detonação / deflagração.

Explosivos secundários são aqueles que apresentam menor

sensibilidade em relação ao primário e não iniciam por impacto ou descarga elétrica; não sofrem a transição DDT por baixo estímulo. Podem ser iniciados por alto impacto [3]. São projetados para detonar se convenientemente iniciados pela ação direta de um explosivo primário [3]. Se iniciados por aquecimento ou chama, deflagram.

A diferença entre explosivo e propelente está na taxa em que a reação de decomposição térmica avança.

2.1 Propelente sólido compósito

Os propelentes sólidos compósito, obtidos sob a forma de um grão propelente, é constituído de espécies químicas orgânicas e inorgânicas além de adição de metais finamente divididos. A matriz polimérica, conhecida como “binder”, desempenha um papel de aglomerante de todos os matérias que compõem o grão Propelentes sólidos compósitos são moldados no tubo motor-foguete e passam por um processo de cura onde desenvolvem as características mecânicas e balísticas necessárias ao bom desempenho do motor nas fase de transporte, estocagem e voo.

2.2 Propelente sólido Base Dupla

Os motores-foguete que propulsionam o artefato bélico SBAT 70 podem, carregados com dois tipos de propelentes sólidos; o base-dupla (BD) e o compósito anteriormente descrito. O BD antecedeu o compósito.

O BD é constituído de um grão de propelente homogêneo que é resultado da mistura de nitroglicerina com nitrocelulose em proporções iguais além da adição de aditivos específicos. Podem ser moldados no tubo motor-foguete ou extrudados para instalação posterior. Nestes casos são designados como “Cast Double-Base” (CDB) ou “Extruded Double-Base” (EDB), respectivamente. Pela adição de espécies químicas ditas energéticas, tais como RDX e HMX têm seu desempenho propulsivo aumentado. Suas propriedades físico-químicas podem ser melhoradas pela incorporação de elastômeros específicos. Neste caso, emprega-se a denominação “Elastomeric-Modified Cast Double-Base” (EMCDB). Todas estas modalidades de BD desenvolvem baixa emissão de fumaça durante seu processo de queima na câmara de combustão dos motores. Adicionalmente, pode-se incorporar espécies químicas oxidantes ou aditivos metálicos as formulações com o objetivo de aumentar o impulso específico (Isp). Desta forma, passa a ser denominado CMDB.

2.3 Classificação quanto à velocidade das reações de decomposição

As reações de decomposição destes materiais energéticos podem ser classificadas de acordo com a velocidade com que ocorrem, podendo ser uma detonação, deflagração ou queima/combustão.

Combustão: é uma reação química de oxidação que geralmente ocorre tendo como fonte oxidante o oxigênio do ar atmosférico desenvolvendo baixas velocidades de queima. Como exemplo, pode-se citar a chama desenvolvida por uma vela convencional queimando quando exposta ao ar atmosférico..

Deflagração: propaga-se por condutividade térmica. Normalmente se dá em um regime de velocidade subsônica sendo que neste tipo de reação há, também, a participação das espécies químicas oxidantes intrínsecas à substância. É o caso das pólvoras ou propelentes sólidos, entre outros.

Detonação – é uma reação de decomposição térmica com a participação exclusiva das espécies químicas oxidantes, oxigênio entre outras, intrínsecas à substância explosiva considerada. As velocidades de detonação variam entre 1.500 m/s e 9.000 m/s. Em função da quantidade de energia envolvida no processo, far-se-á sempre acompanhada de uma onda de choque. É esta onda de

choque que, com sua frente de elevada pressão dinâmica, confere a detonação um enorme poder de ruptura.

3. ESTADO DA ARTE

Vários fatores podem afetar a reação de um motor-foguete a propelente sólido por impacto de projétil em alta velocidade. Estes incluem: (1) o propelente, (2) o “liner” / inibidor, o qual tende a atenuar a energia cinética do impacto, (3) O tubo do motor foguete que confina o propelente e assim influencia em toda reação do mesmo no momento do impacto do projétil e (4) a geometria do grão propelente sólido [4].

Motores-foguete carregados com propelente sólido do tipo compósito (HTPB/AP) são ignitados com menor energia de ativação do que os carregados com CBD em temperatura ambiente. Isto pode ser atribuído à alta resistência a fratura e, portanto baixa sensibilidade do CDB quando comparado ao HTPB/AP, nas mesmas condições [5]. Entretanto, em temperaturas da ordem de -40° C, ambos (HTPB/AP e CBD) são ignitados, porém a reação é muito mais violenta para o propelente CBD. Isto se deve ao comportamento quebradiço do propelente CBD nestas condições o que aumenta sua transição de fase de deflagração/detonação quando comparado ao HTPB/AP.

3.1 Munições insensíveis

A necessidade de relacionar a iniciação da munição de forma inadvertida devido a estímulos térmicos e mecânicos pode ser empregada como critério de avaliação as reações destes estímulos nos sistemas de mísseis. Desta forma, desenvolveu-se um procedimento para avaliação dos efeitos causados por impactos balísticos em artefatos bélicos, principalmente no corpo do motor-foguete a propelente sólido [9].

A seqüência para satisfazer estas necessidades de respostas dos sistemas, depende do tipo de estímulo, como definido nas normas MIL STD 2105 C e STANAG 4439. Impacto de projétil e fragmentação, bem como variação de temperatura, desenvolvendo respostas do tipo queima [6].

Num sistema de mísseis para minimizar a violência na reação do motor-foguete a estímulos externos, deve-se reduzir a sensibilidade do grão propelente sólido além do emprego de tubos motores-foguete consiste tipicamente na combinação de um propelente menos sensível moldado em um tubo motor-foguete não convencional [6].

4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

4.1 Objetivo

O objetivo deste experimento é determinar a reação que ocorre após impacto balístico (velocidades superiores a 800 m/s) em tubos motores-foguete de alumínio carregado com propelentes sólidos tipo BD e compósito. Um segundo objetivo deste trabalho seria verificar quais dos dois propelentes apresenta menor risco de utilização com menor reação após impacto balístico.

4.2 Testes de impacto balístico conforme norma MIL-STD-2105C.

4.2.1 Descrição de teste.

O teste balístico foi realizado para determinar a reação do motor-foguete carregado quando impactado por (01) um projétil de calibre 0.50” tipo M2 perfurador de blindagem AP apontadas para um ponto comum com velocidade de 850 ± 60 m/s (2,800 ± 200 ft/s).

4.2.2 Procedimento de teste.

A Figura 4.1 apresenta um esquema da configuração típica dos testes realizados. A localização da instrumentação (máquinas fotográficas, filmadora, etc.) está representada de forma esquemática. As posições exatas e tipos de equipamentos empregados foram selecionados pela atividade do teste baseado na dimensão do item testado e resposta esperada.

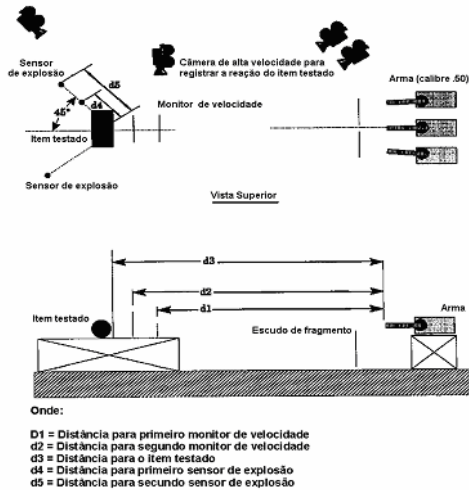


Figura 4.1 - Configuração do teste conforme norma MIL STD 2105C.

4.3 Procedimentos dos tipos de teste

Os procedimentos seguiram as normas MIL-STD-2105C e STANAG 424.

Os corpos de prova foram separados por grupo, por tipo de propelente e calibre da arma de fogo, conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Grupo dos tubos motores-foguete

Grupo	Corpo de Prova
A	Tubo motor-foguete com propelente do tipo BD (M4B) com cabeça-de-guerra e tubeira não integradas ao motor. Motor condicionado à temperatura ambiente.
B	Tubo motor-foguete com propelente do tipo compósito (M4C) com cabeça-de-guerra e tubeira, não integradas ao motor. Motor condicionado à temperatura ambiente.
C	Tubo motor-foguete com propelente do tipo compósito (M4C) com cabeça-de-guerra e tubeira integrada ao motor. Motor condicionado à temperatura ambiente.
D	Tubo motor-foguete com propelente do tipo BD (M4B) com cabeça-de-guerra e tubeira integradas ao motor. Motor condicionado à temperatura ambiente.
E	Tubo motor-foguete com propelente do tipo compósito (M4C) com cabeça-de-guerra e tubeira não integradas ao motor. Motor condicionado à temperatura de - 50°C.
F	Tubo motor-foguete com propelente do tipo BD (M4B) com cabeça-de-guerra e tubeira integradas ao motor. Motor condicionado à temperatura de - 50°C.

No total foram impactados 60 motores foguete, sendo 15 do grupo A, 15 do grupo B, 5 do grupo C, 5 do grupo D, 10 do grupo E e 10 do grupo F. A cada disparo com impacto balístico no motor-foguete, verificava-se as reações enquadrando o resultado de cada disparo nos tipos de reação, conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tipo de reação ao Impacto Balístico

Tipo de reação	Descrição do tipo de reação
Tipo I (Reação de Detonação)	Reação de decomposição no regime supersônica (detonação) onde todo material energético é consumido. Produção de intensa onda de choque. Deformação plástica do tubo motor-foguete seguido de grande fragmentação.
Tipo II (Reação Parcial de Detonação)	Mesma do Tipo I (detonação), porém nem todo material energético é consumido.
Tipo III (Reação de Explosão)	Ignição e queima de alguns ou todos os materiais energético, seguido de violenta pressão de ruptura da estrutura confinada. Tubos de motores-foguete de material compósito são fragmentados sendo arremessados a grandes distâncias. As ondas de choque produzidas podem causar danos às estruturas localizadas em áreas próximas do tubo motor-foguete, porém são de menor intensidades que as do tipo I e II.
Tipo IV (Reação de Deflagração)	Ignição e queima de alguns ou todos os materiais energético, seguido de não violenta elevação de pressão. O tubo motor poderá romper mais não se fragmentar. Material queimando ou não poderá ser expelido. A pressão desenvolvida pode representar risco para o teste. Não há formação de onda de choque ou perigo de fragmentação, somente liberação de calor e risco de aparecimento de fumaça do material energético.
Tipo V (Reação de Queima)	Ignição do material energético e queima não propulsiva. O tubo motor pode romper, fundir ou ficar suficientemente fragilizado de tal forma a permitir a liberação dos gases da combustão por regiões específicas. O tubo pode vir a ser rompido pelo desenvolvimento da pressão interna. Restos dos materiais poderão ser lançados pela abertura a distâncias de até 15 metros.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

5.1 Impacto balístico nos motores-foguete dos grupos A, B, C, D, E e F

Os testes foram realizados em tubo motor-foguete real. Durante os ensaios foram descritos as características dos testes dos grupos A, B, C, D, E e F, conforme Figuras 5.1 e 5.2.



Figura 5.1 – CDP do grupo A (Tubo motor-foguete com propelente do tipo BD (M4B) com cabeça-de-guerra e tubeira não integrada ao motor. Disparo realizado à temperatura ambiente)



Figura 5.2 – Disparo realizado no CDP do Grupo A.

6. CONCLUSÃO

Até o presente momento os resultados indicam que o melhor procedimento seria substituir o material do case do motor-foguete metálico para compósito. Isso permitiria uma maior absorção da energia do impacto reduzindo a possibilidade de deflagração do material.

REFERÊNCIAS

- [1] HAMAIDE, S.; QUIDOT, M.; and BRUNET, M.; "Tactical Solid Rocket Motors Response To Bullet Impact", *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, Vol.17, pp. 120-125, 1992.
- [2] Department of the Army Technical Manual; "Military Explosive"; TM9-1300-214, Headquarters, Department of the Army, September 1984.
- [3] J.A.; WALTERS, P.W.; "Explosive Effects And Application", pp.28-139, 1943.
- [4] HO, S.Y.; and FONG, C. M.; *Combust Flame* 75: 139, 1989.
- [5] HO, S.Y., FONG, C.W. and HAMPSHIRE, B.L. "Assessment of the Response of Rocket Propellants to High-Velocity Projectile Impact Using Small Scale Laboratory Tests," *Combust.Flame*, Vol. 77, pp. 395-404, 1989.
- [6] FISHER, M.J.; and MOORE, T. L.; "Composite Motor Cases For tactical Propulsion Systems"; 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Tucson, Arizona , 10 - 13 July 2005.

