

ESTIMATIVAS DE FORÇAS ATUANTES DURANTE O IMPACTO DE UMA CÁPSULA ESPACIAL COM A ÁGUA

Danton José Fortes Villas Bôas

Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE - Centro Técnico Aeroespacial – CTA
12228-904 - São José dos Campos - SP – Brasil - danton@iae.cta.br

Ulisses Côrtes Oliveira

Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE - Centro Técnico Aeroespacial – CTA
12228-904 - São José dos Campos - SP – Brasil - ulisses@iae.cta.br

Resumo: *O SARA Suborbital foi concebido para ser uma plataforma de ensaios em vôo do satélite recuperável denominado por SARA. Suas características geométricas e seu leiaute interno são idênticos as da versão orbital, ora em fase final de estudos. O SARA Suborbital cumprirá um vôo suborbital por meio do veículo VS40/MV03. Quando do retorno à superfície da Terra o SARA Suborbital será resgatado no mar. Isso provocará um impacto do veículo contra a superfície da água. Logo após o impacto na água o SARA Suborbital será totalmente submerso e iniciará a volta, retornando à superfície e permanecendo assim até o instante do resgate. Durante a fase de impacto poderão ocorrer forças elevadas que podem danificar a estrutura e comprometer a missão. O trabalho engloba toda a fase de penetração na água, desde o instante de contato com a água até o instante em que o corpo está totalmente submerso e inicia a volta, ou seja, até que esteja totalmente desacelerado, com velocidade vertical nula. No trabalho é feita uma revisão de modelos matemáticos utilizados para estimativa de forças de impacto com água em diversos trabalhos. É proposto um modelo para a estimativa das forças que atuarão sobre a estrutura, durante toda a fase de impacto.*

Palavras chave: SARA, impacto na água, forças de impacto

1. INTRODUÇÃO

O SARA Suborbital mostrado na Fig. (1), foi concebido para ser uma plataforma de ensaios em vôo do satélite recuperável denominado por SARA. Suas características geométricas e seu leiaute interno são idênticos as da versão orbital, ora em fase final de estudos. O SARA Suborbital cumprirá um vôo suborbital por meio do veículo VS40/MV03 (Moraes et al., 2002). Quando do retorno à superfície da Terra o SARA Suborbital será resgatado no mar. Isso provocará um impacto do veículo contra a superfície da água. Logo após o impacto na água o SARA Suborbital será totalmente submerso e iniciará a volta, retornando à superfície e permanecendo assim até o instante do resgate. Durante a fase de impacto poderão ocorrer forças elevadas que podem danificar a estrutura e comprometer a missão. O trabalho engloba toda a fase de penetração na água, desde o instante de contato com a água até o instante em que o corpo está totalmente submerso e inicia a volta, ou seja, até que esteja totalmente desacelerado, com velocidade vertical nula. No trabalho é

feita uma revisão de modelos matemáticos. Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados de estimativa de forças atuantes sobre a estrutura externa do SARA Suborbital durante a fase de impacto na água. O estudo engloba toda a fase de penetração na água, desde o instante de contato com a água até o instante em que o corpo está totalmente submerso e inicia a volta, ou seja até que esteja totalmente desacelerado, com velocidade vertical nula.

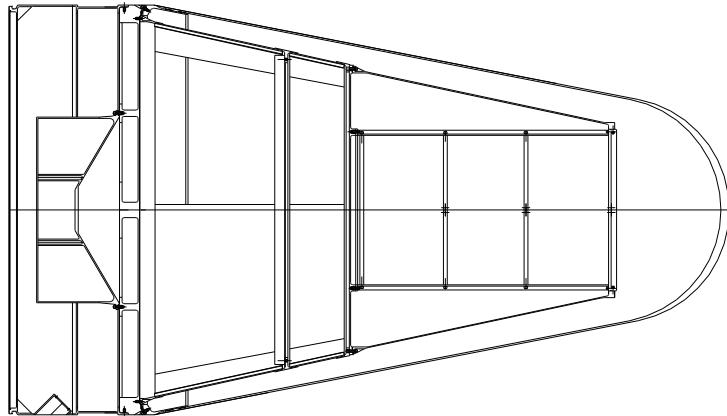


Figura 1. SARA Suborbital

2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Durante a fase de impacto na água o SARA sofre o efeito de forças atuantes sobre sua superfície externa, de forma dinâmica. O gradiente e a amplitude da força podem ser elevados e a estrutura pode sofrer danos que comprometam sua integridade e estanqueidade. O requisito de estanqueidade é muito importante, pois a sua ausência provocará o afundamento do SARA Suborbital e a perda da carga útil. Também a integridade da estrutura é importante a fim de evitar danos a ela própria ou ao experimento. Faz-se assim necessário estimar os valores dessas forças para posterior análise dos efeitos causados sobre as estruturas externa e interna do SARA Suborbital.

3. MODELO FÍSICO

Inicialmente foi realizada uma pesquisa na bibliografia correlata e foram encontrados diversos trabalhos sobre impacto de corpos na água, sendo que um dos principais campos de aplicação trata-se de impacto de flutuadores de aeronaves durante o pouso na água (Mayo, 1945), (Mei et al., 1999) e (Li e Sigimura, 1967). Esses modelos se mostraram de implementação bastante complexa, e inadequados para um estudo preliminar como o desejado.

Foi utilizado então um modelo físico simplificado, que considera a atuação da força hidrodinâmica, força de empuxo e do peso do corpo. Considerou-se também a inexistência de velocidade lateral, como simplificação, ou seja a queda é totalmente vertical.

A configuração considerada está apresentada na Fig. (2) abaixo:

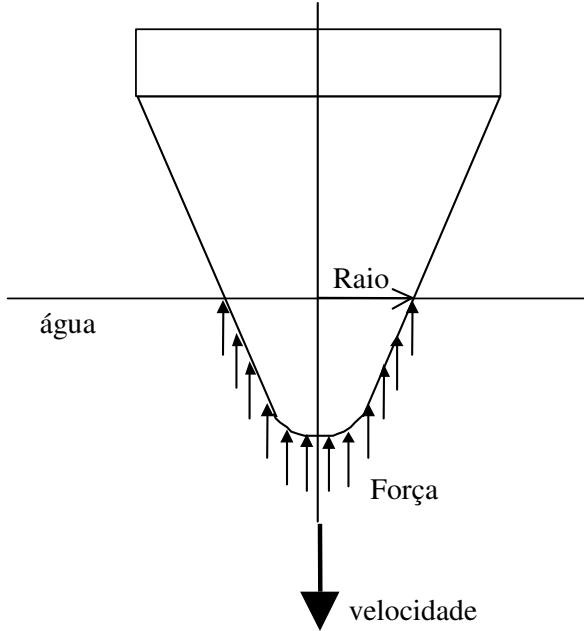


Figura 2. Configuração durante o impacto na água

Para a força de empuxo utilizou-se o princípio de Arquimedes, onde a força de empuxo (F_{Empuxo}) é determinada pelo peso do volume de líquido deslocado (Vol).

$$F_{Empuxo} = \rho \cdot g \cdot Vol, \quad (1)$$

onde ρ é a massa específica da água e g é a aceleração da gravidade.

Para a força hidrodinâmica fez-se uma analogia com as forças aerodinâmicas de arrasto:

$$F_{hidr} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Cd \cdot S_{ref} \cdot v^2, \quad (2)$$

onde Cd é o coeficiente de arrasto hidrodinâmico, S_{ref} é a área de referência e v a velocidade vertical do corpo.

O peso do SARA será dado por:

$$Peso = Massa \cdot g \quad (3)$$

A força total será dada por:

$$F_{total} = Peso - F_{hidr} - F_{Empuxo} \quad (4)$$

A força atuante na casca (estrutura externa) será dada por:

$$F_{atuante} = F_{hidr} + Empuxo \quad (5)$$

A aceleração sobre o corpo será dada por:

$$a = F_{total} / Massa \quad (6)$$

Para o cálculo do coeficiente de arrasto hidrodinâmico utilizou se a metodologia proposta por (Koelle, 1961). Basicamente o valor do Cd varia conforme a posição do corpo em relação à água,

conforme a Tab. (1) abaixo.

Tabela 1. Cálculo do coeficiente de arrasto hidrodinâmico - Cd

Equação para o Cd	Condição
$Cd = Cd0 / (R / Rp + 0,01)$	entrando na água, ponta não submersa totalmente
$Cd = Cd0 / (1 + 0,01)$	entrando na água, ponta submersa
$Cd = 0$	voltando à superfície, parcialmente submerso
$Cd = 0,8$	voltando à superfície, totalmente submerso

sendo que,

R é o raio da parte molhada na superfície da água, Rp é o raio da seção transversal da ponta e $Cd0$ é igual a 0,6.

O algoritmo foi implementado e resolvido numericamente através do software MathPad, Versão 2.5.2-68k (Widholm, 2002). Basicamente para cada passo de tempo calcula-se velocidade v e a posição vertical (profundidade) H em cada instante t através das equações abaixo:

$$v_{i+1} = v_i + a \cdot dt \quad (7)$$

$$H_{i+1} = H_i + v \cdot dt \quad (8)$$

4. RESULTADOS

A velocidade inicial considerada é de 10 m/s. A massa do corpo considerada é de 250 kg. O resultado principal apresentados é a força atuante na superfície molhada no sentido vertical, ou seja contrário ao movimento, em função do tempo. Também são apresentados os resultados da velocidade vertical e da posição vertical (profundidade) em função o tempo.

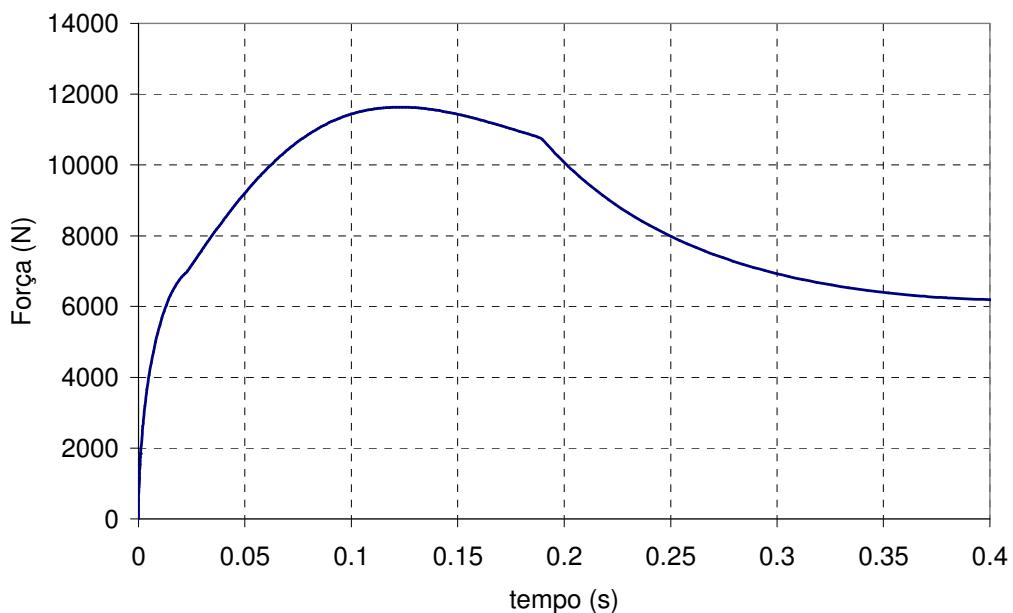


Figura 3. Força atuante em função o tempo.

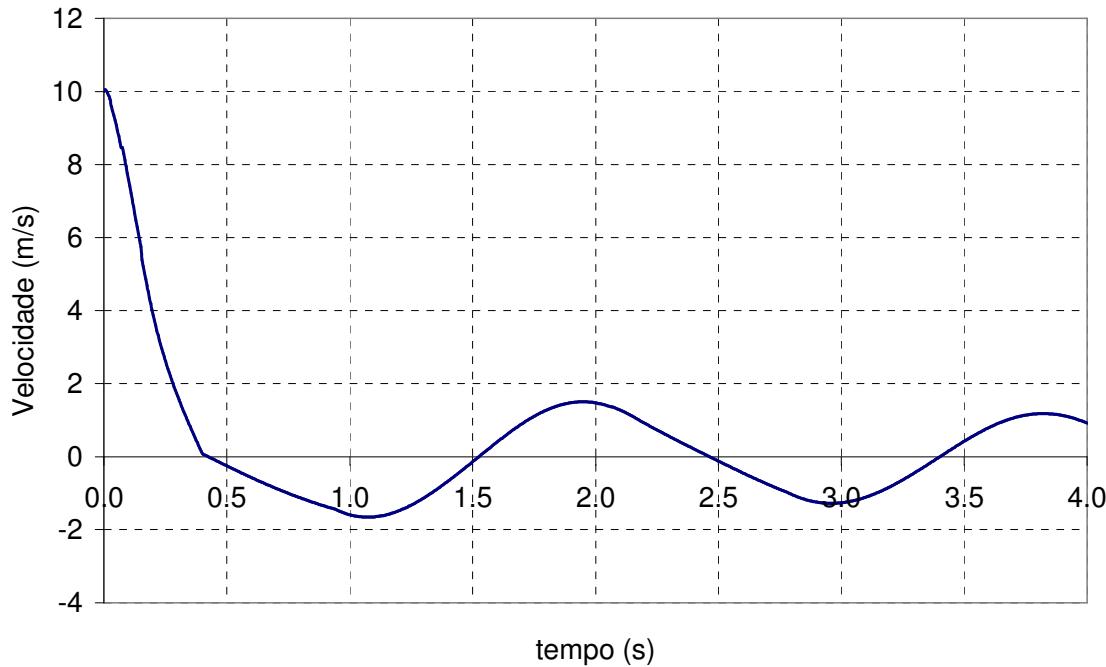


Figura 4. Velocidade vertical em função o tempo.

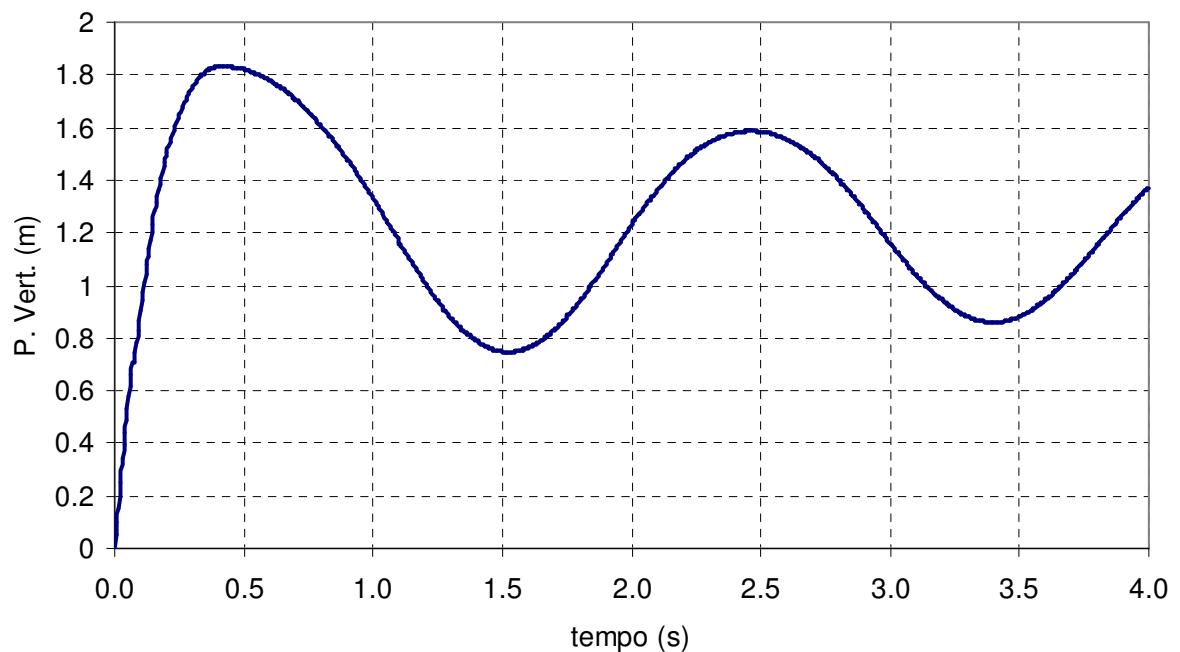


Figura 5. Posição vertical (profundidade) em função o tempo.

5. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A partir de um modelo físico simplificado e de fácil implementação numérica obteve-se o perfil da força atuante durante o impacto do corpo com a água. Note-se que em cerca de 0,19 s o corpo está totalmente submerso, mas ainda possui velocidade. Em cerca de 0,4 s a velocidade vertical é nula, com o corpo iniciando a volta à superfície da água. A força máxima ocorre em cerca de 0,12 s

e é da ordem de 11.600 N. Com esses valores se avaliará, posteriormente, a resposta da estrutura a esses esforços através de análise por elementos finitos. Verifica-se nas Fig. (4) e (5) que o movimento após o impacto é periódico, fracamente amortecido. Isso faz-se concluir que o corpo ficará oscilando, com submersão parcial, visto que o comprimento total é de cerca de 1,697 m, ou seja na Fig. (5) ele estará totalmente submerso apenas quando $P_{Vert.}$ for maior que o comprimento total.

6. REFERÊNCIAS

- Koelle, H.H., “Handbook of Astronautical Engineering”, McGraw Hill, New York, 1961
Mayo, W.L., “Analysis and Modification of Theory for Impact of Seaplanes on Water”, NACA TN 1008, 1945
Mei, X., Liu, Y., Yue, D.K.P., “On the Water Impact of General Two-Dimensional Sections”, Applied Ocean Research 21, 1999
Moraes Jr., P., et al. “Plataforma Sub-Orbital para Ensaios em Vôo do Veículo SARA”, Anais do CONEM 2002 - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, CD ROM, 12-16 ago 2002, João Pessoa-PB
Li, T., Sigmura, T., “Study of Apollo Water Impact-Final Report-Volume 1- Hydrodynamic Analysis of Apollo Water Impact”, NASA SID 67-498, 1967
Widholm, M., “MathPad Manual”, © 1993-2002, <http://pubpages.unh.edu/~mwidholm/MathPad/>, link atualizado em Jan/2004

7. DIREITOS AUTORAIS

São reservados aos autores os direitos autorais pelo conteúdo do material impresso incluído nesse trabalho.

ESTIMATION OF ACTUATING FORCES DURING WATER IMPACT OF A SPACECRAFT

Danton José Fortes Villas Bôas

Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE - Centro Técnico Aeroespacial – CTA
12228-904 - São José dos Campos - SP – Brasil - danton@iae.cta.br

Ulisses Côrtes Oliveira

Instituto de Aeronáutica e Espaço – IAE - Centro Técnico Aeroespacial – CTA
12228-904 - São José dos Campos - SP – Brasil - ulisses@iae.cta.br

Abstract: The SARA Suborbital was conceived to be a platform of flight tests of the recoverable satellite SARA. Its geometric characteristics and internal layout are identical of the orbital version, now in final phase of studies. The SARA Suborbital will fulfill a suborbital flight as a payload of the vehicle VS40/MV03. In the return to the surface of the Earth SARA Suborbital will be rescued in the sea. This will provoke an impact of the vehicle against the surface of the water. Soon after the impact in the water the SARA Suborbital will be total submerged and will return to the surface and thus remaining until the instant of the rescue. During the impact phase high forces will occur and this can damage the structure and compromise the mission. This work will predicted all the phase of penetration in the water, since the instant of contact with the water until the instant where the body is total submerged and initiates the return, or either until total it is decelerated, with null vertical speed. In the work a revision of used mathematical models for estimation of forces of impact with water in other works is presented. It is proposed a model for the estimation of the forces that will act on the structure, during the impact phase.

Keywords: SARA, water impact, impact forces