

MANOBRAS EVASIVAS NÃO-IDEAIS: ESTRATÉGIAS PROPULSIVAS EM AMBIENTE DE DETRITOS ESPACIAIS

Rafael Ribeiro de Sousa¹; Antônio Delson C. de Jesus²

1. Bolsista PROBIC-UEFS, Graduando em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: rafanw72@gmail.com
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, email: aldjl@gmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Detritos Espaciais, Manobras Evasivas, Propulsão.

INTRODUÇÃO

A realização de manobras evasivas é uma medida segura e uma estratégia bastante utilizada nas missões espaciais em ambientes de detritos espaciais (DE). Detritos espaciais são partículas que orbitam a Terra com velocidades relativas altas suficientes para causar danos graves aos veículos, podendo ocasionar a falha operacional total da missão. A dinâmica relativa entre veículos e detritos espaciais é derivada semi-analiticamente do estudo da dinâmica de partículas sujeitas ao campo gravitacional obtido por Clohessy-Wiltshire em 1960. Estas equações são apropriadas para serem aplicadas à dinâmica de veículos e detritos espaciais em uma configuração particular próxima a região orbital terrestre de modo que possamos realizar previsões de condições iniciais que possibilitam a colisão e, além disso, o modelo matemático permite adicionar forças propulsivas que podem ser relacionadas com parâmetros tecnológicos do próprio veículo.

Neste trabalho estudamos um modelo de dinâmica relativa de um DE e um veículo espacial sob influência do campo gravitacional terrestre e pela ação da força de propulsão ou empuxo. A compreensão da dinâmica relativa permitiu estabelecer por simulação numérica trajetórias colisionais do sistema veículo-detrito com vistas às manobras evasivas realizadas pelo sistema propulsor do veículo espacial. Para isto, consideramos sistemas de propulsão química e a plasma não-ideais, numa abordagem probabilística para a dinâmica dos corpos orbitantes em questão. Apresentamos resultados da dedução das equações da dinâmica de propulsão a plasma, envolvendo desvios nas direções de apontamento do vetor empuxo.

A equação homogênea associada a esta dinâmica é:

$$x(t) = \frac{x_0}{w} \operatorname{sen} w t - \left(\frac{2y_0}{w} + 3x_0 \right) \operatorname{cos} w t + \left(\frac{2y_0}{w} + 4x_0 \right) \quad (4)$$

$$y(t) = \frac{2x_0}{w} \operatorname{cos} w t - \left(\frac{4y_0}{w} + 6x_0 \right) \operatorname{sin} w t + \left(y_0 - \frac{2x_0}{w} \right) - (3y_0 + 6wx_0)t \quad (5)$$

$$z(t) = z_0 \operatorname{cos} w t + \frac{\dot{z}_0}{w} \operatorname{sin} w t \quad (6)$$

Para agora considerar as forças propulsivas do veículo (etapa não-homogênea) escolhe-se agora um modelo exponencial de massa de exaustão de combustível:

$$M(t) = m_0 (\chi + e^{-\gamma t}), \quad \gamma > 0 \quad (11)$$

Os desvios foram assumidos nas componentes da velocidade de ejeção e no ângulo de apontamento do jato dos gases. Estes desvios foram tomados como iguais em todas as direções como primeira aproximação e as magnitudes das componentes da velocidade foram assumidas iguais. Assim, a magnitude do desvio na força de empuxo é dada por:

$$\Delta F = \sqrt{\{2C^2 + A[E(AE - BC)] - BCD\} + B[D(BD - AC) - ACE + \Delta^2 v_e] \frac{dm}{dt}} \quad (12)$$

onde,

$$A = \cos \phi + \sin \phi \quad (13)$$

$$B = \cos \phi - \sin \phi \quad (14)$$

$$C = (v_e + \Delta v_e) \left(\frac{\Delta^3 \phi}{6} - \Delta \phi \right) \quad (15)$$

$$D = \Delta v_e \left(1 - \frac{\Delta^2 \phi}{2} \right) - v_e \frac{\Delta^2 \phi}{2} \quad (16)$$

$$E = \Delta v_e - (v_e - \Delta v_e) \frac{\Delta^2 \phi}{2} \quad (17)$$

Estas equações são relacionadas com parâmetros do plasma (I_b corrente do feixe de plasma e q a carga Hall) e seus respectivos desvios (ΔI_b variação na corrente do feixe de plasma, Δq variação na carga Hall) pela equação:

$$\frac{\Delta v_e}{v_e} = \left(\frac{\Delta I_b}{I_b} - \frac{\Delta I_b}{I_b} \frac{\Delta q}{q} + \frac{\Delta I_b}{I_b} \left(\frac{\Delta q}{q} \right)^2 \right) \quad (18)$$

METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo obedece aos seguintes passos:

- 1) Dedução das equações da dinâmica não ideal (entre os DE e o veículo espacial);
- 2) Simulação numérica da dinâmica para a propulsão química;
- 3) Análise das condições para as manobras evasivas frente a possibilidades de colisão;
- 4) Análise de parâmetros tecnológicos associados à dinâmica relativa e ao sistema de propulsão;
- 5) Dedução das equações da

dinâmica com propulsão a plasma; 6) Dedução das equações da dinâmica com propulsão a plasma com erros de apontamento (caso não ideal); 7) Simulação numérica para a propulsão a plasma com desvios;

RESULTADOS

Os resultados das simulações são mostrados nos gráficos das Figuras 1 a 2. Nestes gráficos as dimensões dos objetos colisionais são encontradas em função dos desvios praticados para regime de baixa corrente. Os resultados para a propulsão a plasma também são comparados com os equivalentes da propulsão química.

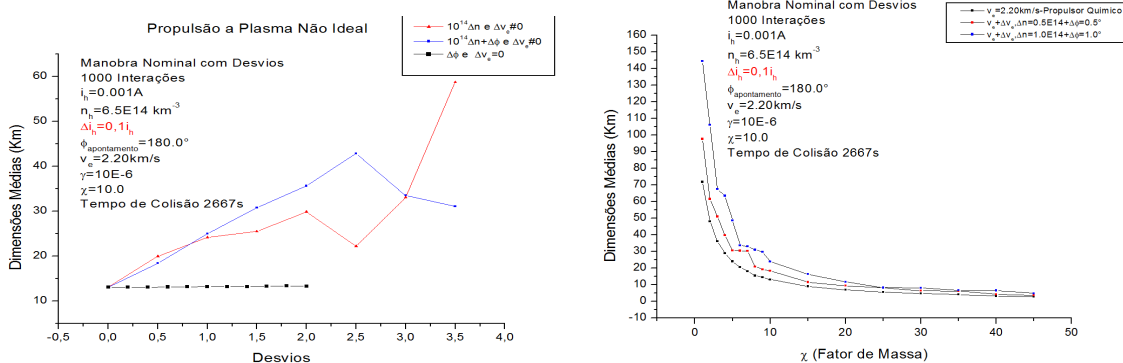


Fig. 1- Dimensões médias dos detritos vs. Desvios em velocidade, densidade eletrônica, ângulo de direção do jato e corrente (0,1I_h)

Estes resultados mostram valores realistas para os parâmetros tecnológicos favoráveis às manobras de evasão, com diferentes configurações iniciais. O propulsor a plasma se mostra eficaz em relação ao propulsor químico, mesmo operando em regimes de baixa corrente. Os desvios na magnitude da velocidade representada pelas instabilidades do feixe de plasma são mais significativos que os erros em direção.

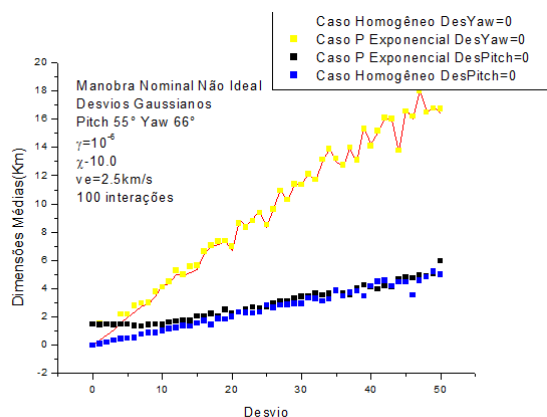


Fig. 2- Dimensões dos objetos e Desvios fora e no plano: casos homogêneo e não homogêneo

Nesta Figura vemos que os desvios (no plano) praticados nas condições iniciais não geram, em média, diferenças significativas entre as soluções homogênea e não homogênea. Além disso, o aumento do desvio, afasta os objetos da colisão ou permitem colisão com objetos de tamanhos maiores. Os desvios fora do plano mantêm esta tendência, mas para tamanhos de objetos bem inferiores. O efeito deste desvios nas soluções homogênea e não homogênea também não causa diferenças significativas entre elas.

CONCLUSÃO

A compreensão da dinâmica relativa permitiu estabelecer por simulação numérica trajetórias colisionais do sistema veículo-detrito com vistas às manobras evasivas realizadas pelo sistema propulsor do veículo espacial. Para isto, consideramos sistemas de propulsão química e a plasma não-ideais, numa abordagem probabilística para a dinâmica dos corpos orbitantes em questão. Apresentamos resultados da dedução das equações da dinâmica de propulsão a plasma, envolvendo desvios nas direções de apontamento do vetor empuxo. Os resultados mostraram que uma missão espacial pode ser projetada com parâmetros tecnológicos do veículo espacial (velocidade de ejeção, fator de potência e massa de combustível) que permitiram manobras de evasão, considerando os efeitos da não idealidade do sistema de propulsor e o tipo de propulsor, em destaque para a propulsão a plasma que se mostrou mais potente/eficiente na realização da manobra.

REFERÊNCIAS

1. **CLOHESSY, W.H. E WILTSHIRE, R. S.** Terminal Guidance System for Satellite Rendezvous. *Journal of the Aerospace Sciences*, 653-659, 1960.
2. **Jesus, A. D. C., Teles, N. T.** Rendezvous Maneuvers under Thrust Deviations and Mass Variation. *Nonlinear Dynamics and Systems Theory.* , v.7, p.279 - 288, 2007.
3. **Jesus, A. D. C.** Dinâmica Orbital em Ambiente de Detritos Espaciais. Relatório Técnico-Científico, CNPq, PDE 200717/2006-5 (01/11/2006 a 31/10/2007), Brasil, 2008.
4. **Pôssa, G. C. e Ferreira, J. L.** Desenvolvimento de um Sistema de Detecção de Instabilidades de Plasma para um Propulsor a Plasma tipo Hall. Tese de Mestrado, UNB, 2010