

MANOBRAS EVASIVAS E DE RENDEZVOUS COM PROPULSÃO PLASMA

Thamis Cortes Freire de Carvalho¹; Antônio Delson C. de Jesus²

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

PALAVRAS-CHAVE: Manobras Evasivas, Propulsão Plasma, Nuvem de Detritos

INTRODUÇÃO

Atualmente, ao se pensar em acoplamentos com a Estação Espacial Internacional e também em missões que requerem encontros de espaçonaves ao longo das suas órbitas, a concepção destas manobras e ainda de forma econômica, torna-se mais que necessária, devido ao crescimento na demanda destas operações. Estas manobras chamadas e Rendezvous servem para cumprir diversos objetivos previstos em missão (coletas de materiais, visitas de sondas a asteroides, etc.) e não previstos para atender a urgências operacionais que possam surgir ao longo da missão. A dinâmica relativa entre dois objetos espaciais que realizam manobras de Rendezvous pode ser descrita a partir das seguintes equações::

$$\ddot{x} - 2\omega\dot{y} = f_x \quad (1)$$

$$\ddot{y} - 3\omega^2y + 2\omega\dot{x} = f_y \quad (2)$$

$$\ddot{z} + 3\omega^2z = f_z \quad (3)$$

Nestas equações, o lado esquerdo tem as componentes Cartesianas da força gravitacional e o lado direito das forças não gravitacionais. Quando estas últimas forem nulas ($f_x=f_y=f_z=0$), temos as Equações de Clohessy-Wiltshire, 1960. No nosso trabalho a dinâmica é regida pelas forças gravitacional e de propulsão. A propulsão plasma é mais eficiente, mais limpa e de menor custo relativamente à propulsão química. Neste trabalho estudamos diversas manobras evasivas com propulsão a plasma em função dos parâmetros tecnológicos do sistema de propulsão, com a finalidade de escapar de colisões iminentes com detritos. Estudamos também as manobras de Rendezvous entre espaçonaves ao longo das suas órbitas.

MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

A metodologia para a nossa pesquisa consistiu-se na dedução das equações da dinâmica relativa, considerando além das forças gravitacional a de propulsão plasma. Para isso, realizou-se um estudo aprofundado do funcionamento do propulsor a plasma do tipo Hall, com a finalidade de realizar a dedução da expressão analítica para a velocidade de exaustão com que o plasma deixa o canal de aceleração. Logo após, foram realizadas as simulações numérica das dinâmicas com propulsão plasma, com a obtenção das condições iniciais e parâmetros tecnológicos para as manobras de escape. Por fim esses dados foram colocados em gráficos. Posteriormente foi realizado um estudo para Rendezvous e Quase-Rendezvous no qual se procurou estimar de maneira quantitativa as possibilidades de

ocorrência destas manobras em função da velocidade relativa final entre os objetos sujeitos apenas à força gravitacional.

RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

1) ESTUDO DAS MANOBRAS DE RENDEZVOUS E QUASE-RENDEZVOUS EM AMBIENTE DE DETRITOS ESPACIAIS

No estudo de Rendezvous e Quase-Rendezvous, simulamos a dinâmica relativa para computarmos as possibilidades de uma espaçonave encontrar-se com um detrito espacial, sem colidir com ele. A condição de colisão é:

$$x(t) = 0, y(t) = 0, z(t) = 0 \Rightarrow r(t) = 0 \quad (4)$$

A condição de Rendezvous é que a velocidade final relativa seja nula também. A condição para Quase-Rendezvous é que a velocidade é próxima de zero. Esse estudo se deu por meio das soluções das equações (1)-(3) quando há apenas atuação da força de gravidade da Terra sobre os corpos. O estudo se concentrou em faixas de velocidade baixas que foram de 0,000-0,006 Km/s, além de faixas na ordem de 10^{-4} km/s. Os resultados encontrados estão distribuídos nos histogramas da Figuras 1, a seguir.

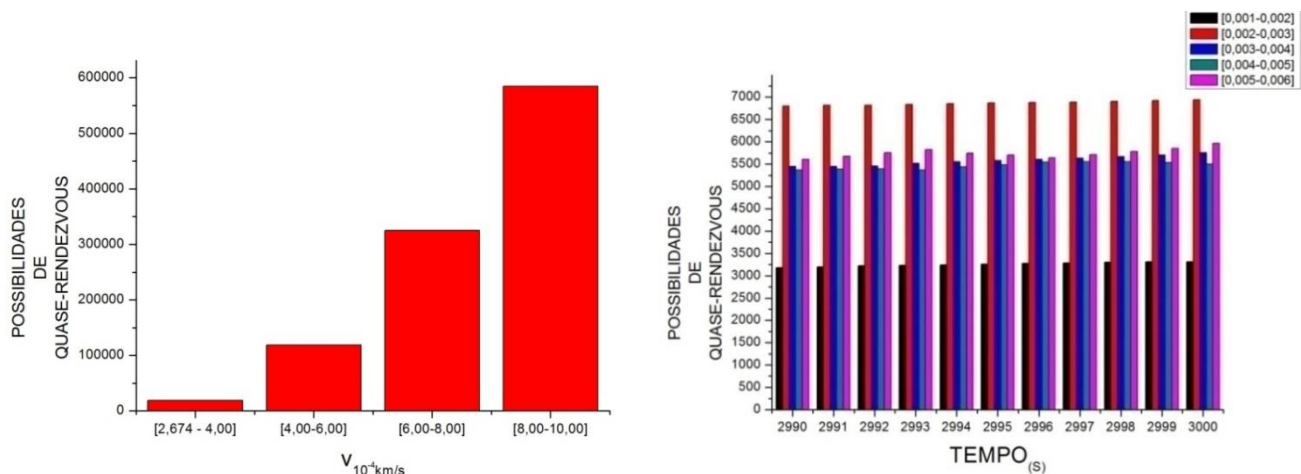


Figura 1 –a) Possibilidades de Quase-Rendezvous vs. Faixas de velocidades finais e b) Possibilidades Quase-Rendezvous vs. Faixas de velocidades finais – Distribuição no tempo

2) DINÂMICA COM PROPULSÃO PLASMA

Os propulsores por efeito Hall utilizam a combinação de campos elétricos e magnéticos para a obtenção e aceleração de plasma. Logo, usando as equações da teoria Magnetohidrodinâmica (MHD) e as propriedades do plasma foi possível depois de realizados os cálculos necessários concluirmos que a corrente hall, que desempenha um papel importante no propulsor, e por fim, a velocidade de exaustão do plasma são dados pelas expressões:

$$k_x = -\frac{\rho B_z^2 B_r E_z \cos(\theta)}{\sigma B_t^2} \quad (6)$$

$$k_y = -\frac{\rho B_z^2 B_r E_z \sin(\theta)}{\sigma B_t^2} \quad (7)$$

$$k_z = +\frac{\rho B_z^2 B_z E_z}{\sigma B_t^2} \quad (8)$$

sendo σ a condutividade do meio em que a corrente circula.

A partir da velocidade de exaustão podemos obter a força de propulsão plasma e aplicá-la nas equações da dinâmica relativa. Assim, temos:

$$\ddot{x} - 2\omega\dot{y} + 3\omega^2 x = -k_x t \frac{d}{dt} \ln(M(t)) + \ln(M(t)) \frac{d}{dt} (-k_x t) \quad (9)$$

$$\ddot{y} + 2\omega\dot{x} = -k_y t \frac{d}{dt} \ln(M(t)) + \ln(M(t)) \frac{d}{dt} (-k_y t) \quad (10)$$

$$\ddot{z} + 3\omega^2 z = -k_z t \frac{d}{dt} \ln(M(t)) + \ln(M(t)) \frac{d}{dt} (-k_z t) \quad (11)$$

De onde foram encontradas as soluções para a dinâmica relativa:

$$z(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) + C \quad (12)$$

$$y(t) = D \cos(\omega t) - E \sin(\omega t) + Ft + G + He^{-\gamma nt} + I \quad (13)$$

$$x(t) = 2D \sin(\omega t) - 2E \cos(\omega t) + Jt + \frac{k_x m_0}{\gamma^2} (1 - e^{-\gamma t}) + 2tL + Mt^2 + (N + O + P)(1 - e^{-\gamma nt})$$

$$+ \left(\frac{k_x m_0 \omega^2}{\gamma^2 (\gamma^2 + \omega^2)} - \frac{k_y m_0}{2\gamma^2} \right) 4e^{-\gamma t} + Q \quad (14)$$

Os coeficientes destas equações dependem das condições iniciais, dos parâmetros tecnológicos e da velocidade de exaustão que por sua vez depende do campo elétrico e magnético atuantes no plasma, da condutividade e da densidade de massa ejetada. Os gráficos da Figura 2a, a seguir, mostram os resultados das simulações da posição relativa final dos objetos colisionais em função do campo magnético, para campo elétrico igual a 0,6 N/C e 0,2 N/C, respectivamente;

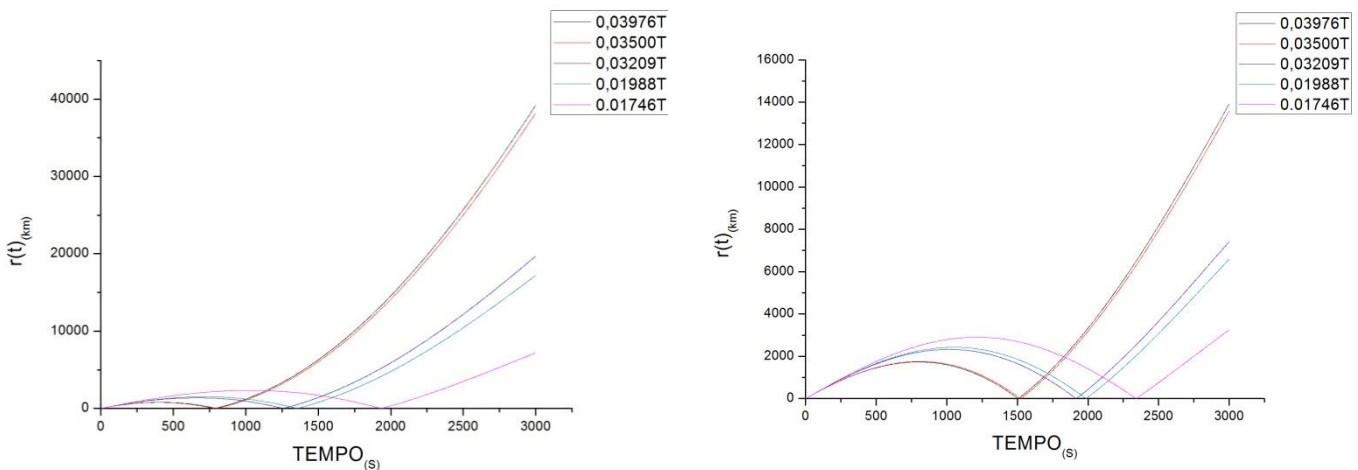


Figura 2 – Distância relativa final vs. Campo magnético, $E = 0,6 \text{ NC}$ e $E = 0,2 \text{ NC}$, respectivamente.

Observamos destes gráficos que o campo magnético pode ser utilizado para escapar de detritos muito grandes, ou seja, a potência da propulsão pode ser aumentada, via a dependência da velocidade com o campo magnético. Ao reduzir o campo elétrico, observamos também uma queda nos valores de $r(t)$, o que indica escapar de detritos menores. Então, há uma combinação de contribuições destes dois campos para que a velocidade de exaustão cresça ou diminua, possibilitando o escape de detritos de tamanhos diferentes. A aparente colisão nos gráficos se deve à escala, visto que os corpos se aproximam com raios menores do que 1.000 km, porém sua distância relativa final não chega a ser zero. O menor valor desta distância apresentado durante a manobra foi de, aproximadamente, 13 km.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

Diante de tudo foi possível obter que a propulsão plasma permite o controle de escape de colisão com detritos com diferentes tamanhos, e que este variando conforme se manipula o campo magnético e elétrico. Essa relação se dá pela velocidade de exaustão que está diretamente ligada aos campos, uma vez que a equação para a velocidade é linear no tempo devido à não dependência dos campos com tempo, mais sim com o espaço (direção axial). Foi observado também que os resultados mudam com o ângulo azimutal da configuração do propulsor. Quanto às manobras Rendezvous os gráficos mostraram que as distribuições das possibilidades aumentam com o tempo de manobra evasiva em todas as faixas de velocidades, e que não houve casos de Rendez-vous, pois o menor valor encontrado foi de $0,0002674 \text{ km/s}$ que caracteriza um Quase-Rendez-vous.

REFERÊNCIAS

CLOHESSY, W.H.; WILTSHIRE, R. S. 1960. Terminal Guidance System for Satellite Rendezvous. *Journal of the Aerospace Sciences*, p.653-659.