

# DIREÇÃO DE CAPTURA: ABORDAGEM ANALÍTICA DA ORIGEM DE SATÉLITES IRREGULARES DE JÚPITER.

Luiz Augusto Guimarães Boldrin, Othon Cabo Winter, Ernesto Vieira Neto. - Inter-áreas - Astronomia - Departamento de Matemática – Faculdade de Engenharia – Campus Guaratinguetá .

Quando uma partícula do problema restrito de três corpos se aproxima do primário de menor massa, essa partícula pode ficar temporariamente capturada ao redor desse corpo. Ou seja, essa partícula irá orbitar por algum tempo esse primário. Este modelo se aplica ao estudo dos satélites irregulares dos planetas gasosos, incluindo os satélites recentemente encontrados em torno de Júpiter. Este processo de captura, conhecido como captura gravitacional temporária, foi recentemente aplicado em estudos dos satélites irregulares de Urano (Vieira Neto e Winter, 2001; Winter e Vieira Neto, 2001).

Para que a partícula tenha sua captura efetiva é necessário que ocorra algum processo dissipativo. A literatura discute vários modelos de efetivação. Nesse modelo é estudado a variação de massa de menor massa. Em Vieira Neto et al. (2004) experimentos numéricos demonstraram que a variação da massa do planeta pode tornar a captura temporária permanente. Porém, esse estudo não indica a origem dessas partículas no sistema solar. Este trabalho teve por finalidade determinar a região a região de origem dessas partículas e entender o processo de captura envolvendo a variação de massa do planeta.

O modelo que estuda o movimento de uma partícula (corpo com massa desprezível) governada pela atração gravitacional de duas massas é chamado de problema restrito de três corpos (ver figura 01). Apesar das características simples desse modelo (três corpos, um dos quais com massa desprezível), ele não apresenta uma solução fechada como o problema de dois corpos, e possui uma grande complexidade (Cordeiro et al., 1999). Este modelo é comumente analisado em função da constante de Jacobi (equação 01).

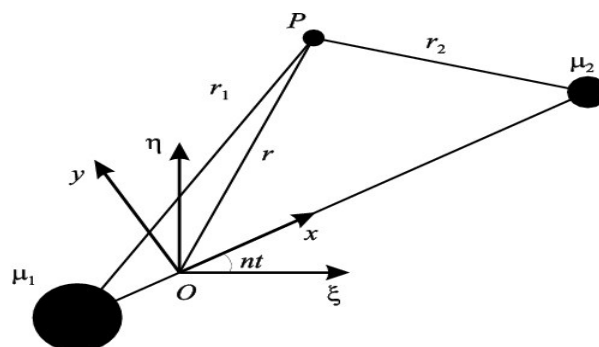


Figura 01-Sistema de Coordenadas Fixas  $(\xi, \eta, \zeta)$  e Sistema de Coordenadas Sinódico (que junto com  $m_1$  e  $m_2$ )  $(x, y, z)$ , (Murray e Dermott, 1999).

$$C_J = n^2(x^2 + y^2) + 2\left(\frac{\mu_1}{r_1} + \frac{\mu_2}{r_2}\right) - v^2 \quad (01)$$

Como já dito antes, a captura gravitacional temporária pode ser explicada usando esse modelo supramencionado. A partícula, que tem sua trajetória em torno do Sol, ao passar pelas proximidades do planeta é atraído e o orbita por algum tempo. Existem vários autores que mostraram que essa captura é temporária (veja, por exemplo, Yegorov (1960) ou Tanikawa (1983), entre outros). Mas uma pequena modificação do modelo, variação de massa do planeta, pode explicar como a captura gravitacional pode se tornar permanente.

A variação de massa do planeta foi um evento que ocorreu no período inicial da formação do sistema solar. O planeta teve que acretar matéria do sistema solar para chegar ao seu tamanho atual. Esse processo é lento (Fleming e Hamilton, 2000) e pode ser considerado um processo

adiabático (Jeans, 1961). A consequência disso é que as equações do problema restrito de três corpos não precisam ser alteradas.

Este problema, a captura gravitacional através da variação de massa, está sendo estudado de forma inversa, ou seja, a partícula está em órbita do planeta e este está com sua massa atual, o movimento da partícula é integrado para o passado fazendo o planeta variar sua massa. Isso provoca o escape da partícula. Quando isso ocorrer, o movimento da partícula que está sendo estudado fornece informações sobre a região de onde vêm as partículas capturadas pelo planeta.

Num estudo preliminar, realizado ao longo do primeiro ano (2005-2006) de bolsa, PIBIC-CNPq, foram feitas simulações numéricas visando determinar as direções preferenciais de captura destes tipos de satélites. No presente trabalho fizemos uma abordagem analítica deste problema.

Primeiramente, revisamos detalhadamente o trabalho de Hamilton e Krivov (1997), no qual é apresentado um modelo para o caso plano, com o sistema de coordenadas centradas no corpo de menor massa (planeta), envolvendo satélites de asteróides (equação 02).

$$C = \frac{GM}{a} \pm 2n_s n a^2 (1-e^2)^{1/2} + \frac{a^2 n_s^2}{2} + \frac{3a^2 e^2 n_s^2}{4} [1 + 5 \cos(2\phi_s)] \quad (02)$$

onde o sinal de mais corresponde a órbitas progradas ( $i=0^\circ$ ) e o sinal de menos corresponde a órbitas retrogradas ( $i=180^\circ$ ). As variáveis  $n_s$ ,  $a$  e  $e$  são a velocidade, o semi-eixo maior e excentricidade da partícula, respectivamente. O ângulo  $\phi_s$  é o ângulo entre o Sol e o pericentro da órbita do asteróide.

Então, prosseguimos os estudos generalizando as expressões para o caso tridimensional, onde consideramos o modelo Sol-Júpiter-Partícula. Este trabalho envolveu um processo de média na anomalia verdadeira do satélite (processo também feito por Hamilton e Krivov, 1997), que é uma variável de curto-período deste problema. Neste desenvolvimento nos deparamos com um sistema bem mais complexo. As expressões passaram a depender não somente da excentricidade e do ângulo crítico, mas também da inclinação e longitude do nodo da partícula (equação 03). Os resultados encontrados deverão ser utilizados em estudos futuros.

$$\begin{aligned} C = \frac{GM}{a} + 2nn_s a^2 (1-e^2)^{1/2} \cos i + \frac{3}{4} n_s^2 a^2 \left\{ \frac{2}{3} - \frac{7}{4} e^2 + \frac{5}{2} \sin^2 i \left[ \cos(2\Omega) + e^2 - \frac{2}{5} \right] + \right. \\ \left. + \frac{3}{2} e^2 \cos(2\lambda' - 2\Omega) \sin^2 i + \right. \\ \left. + \frac{5}{4} e^2 \cos(2\omega - 2\lambda' + 2\Omega) (\cos^2 i + 2 \cos i + 1) + \right. \\ \left. + \frac{5}{4} \cos(2\omega + 2\lambda' - 2\Omega) (\cos^2 i + e^2 \cos i + 1) \right\} \quad (03) \end{aligned}$$

### Referencias Bibliográficas:

- [1] CORDEIRO, R.R., VIEIRA MARTINS, R., LEONEL, E.D. **Complexity of capture phenomena in the conservative and the dissipative restricted three-body problems.** The Astronomical Journal 117 (3), 1634-1642, 1999.
- [2] FLEMING, H.J., HAMILTON, D.P. **On the origin of the Trojan asteroids: Effects of Jupiter's mass accretion and radial migration.** Icarus 148 (2), 479-493, 2000.
- [3] HAMILTON, D.P., KRIVOV, A.V. Dynamics of Distant Moons of Asteroids. Icarus 239, 241-249, 1997.
- [4] JEANS, J.H. **Astronomy and Cosmogony.** Dover, New York, 1961.

- [5] MURRAY, C. & DERMOTT. **Solar System Dynamics**, Cambridge Univ. Press, 1999.
- [6] TANIKAWA, K. **Impossibility of the capture of retrograde satellites in the restricted three-body problem**. Celestial Mechanics 29 (4), 367-402, 1983.
- [7] VIEIRA NETO, E., WINTER, O. C. **Time analysis for temporary gravitational capture: Satellites of Uranus**. The Astronomical Journal 122 (1), 440-448, 2001.
- [8] VIEIRA NETO, E., WINTER, O. C., YOKOYAMA, T. **The effect of Jupiter's mass growth on satellite capture –Retrograde case**. Astronomy and Astrophysics 414 (2), 727-734, 2004.
- [9] YEGOROV, V.A. **The capture problem in the three-body restricted orbital problem**. Relatório técnico, NASA, Washington, 16 p, 1960.
- [10] WINTER, O. C., VIEIRA NETO, E. **Time analysis for temporary gravitational capture – Stable orbits**. Astronomy and Astrophysics 377 (3), 1119-1127, 2001.

**Bolsa:** CNPq