

Estudo e Análise de Transnetunianos de Alta Inclinação

Luiz Gomes ¹
Rafael Sfair ^{1,2}
Rosana A. N. Araujo ¹

E-mail: claudio.gomes@unesp.br

¹ Universidade Estadual Paulista, UNESP, Guaratinguetá (SP), Brasil

² Institut für Astronomie und Astrophysik, Eberhard Karls Universität Tübingen, Auf der Morgenstelle 10, 72076 Tübingen, Germany



EBERHARD KARLS
UNIVERSITÄT
TÜBINGEN



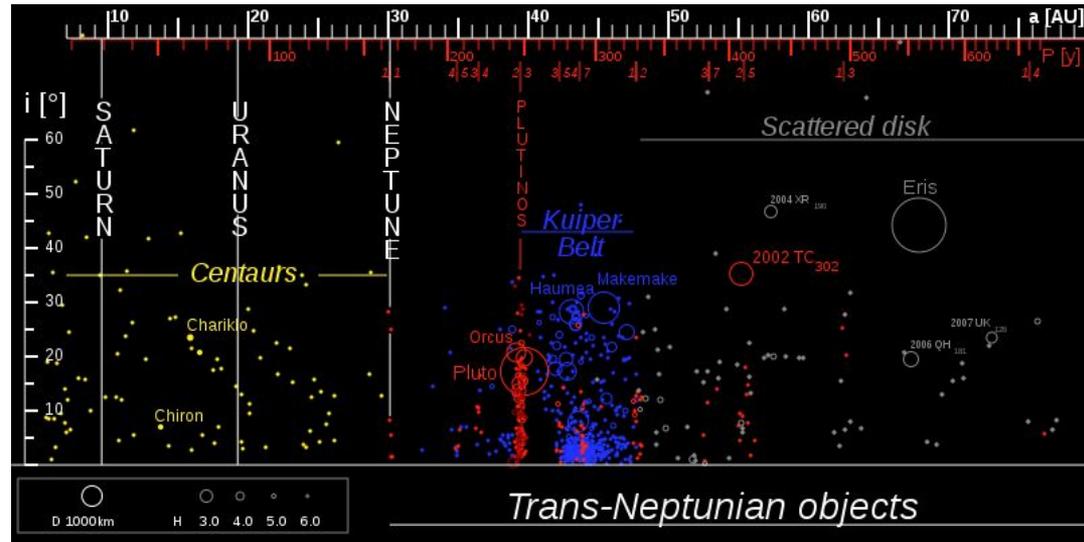
Objetivo | Introdução

Os Objetos Transnetunianos (TNO) são remanescentes da formação do nosso sistema e recebem pouca radiação solar, tornando-os fósseis preciosos para nossa história;

Estudar/conhecer a órbita desses objetos é fundamental para entender a formação do Sistema Solar;

Desenvolvemos um código robusto e rápido para simulações de pequenos corpos no Sistema Solar;

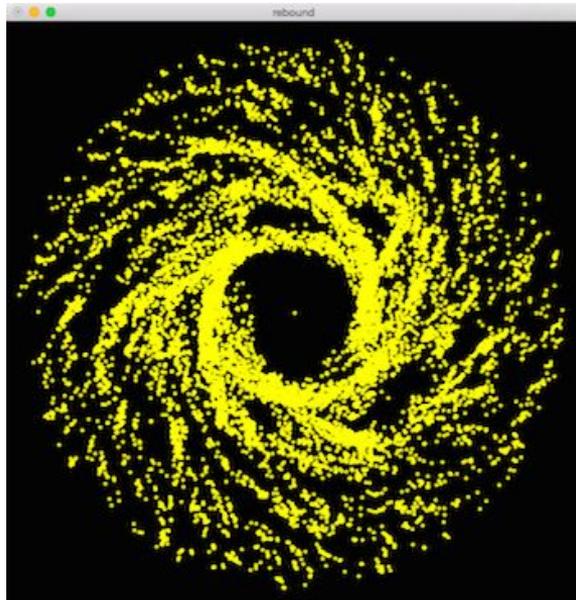
O código é capaz de integrar diversos objetos com diferentes inclinações e altas excentricidades.



Metodologia

Construímos um código modular usando o integrador IAS15 Rebound;

O programa detecta e salva encontros próximos dentro de um múltiplo do raio de Hill;



Durante a simulação são gerados arquivos com o número total de encontros, a relação de encontros por planeta e o ponto mais próximo entre o clone e o planeta;

Para o estudo dos TNO's, simulamos clones do objeto, o Sol e os planetas gigantes.

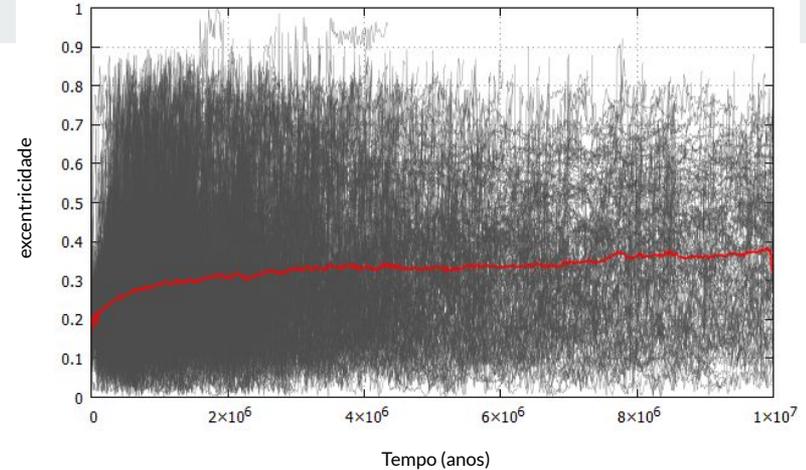
Validação

Para validar o código utilizamos 730 clones do centauro Chariklo e comparamos o resultado obtido com *Araujo, Sfair & Winter (2016)*;

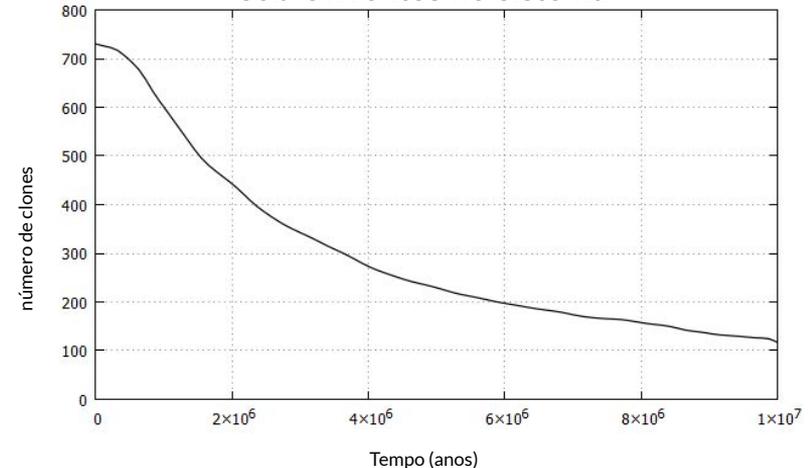
O número de encontros relativos por planeta obtidos foi consistente com o trabalho comparado;

A variação média dos elementos orbitais também é compatível com o trabalho de *Araujo, Sfair & Winter (2016)*;

Evolução da excentricidade dos clones e sua média



Curva suavizada do número de clones de Chariklo sobreviventes no sistema



TNO 2013 VD24

Simulamos 900 clones do TNO 2013 VD24 e os gigantes gasosos por 100 Milhões de anos;

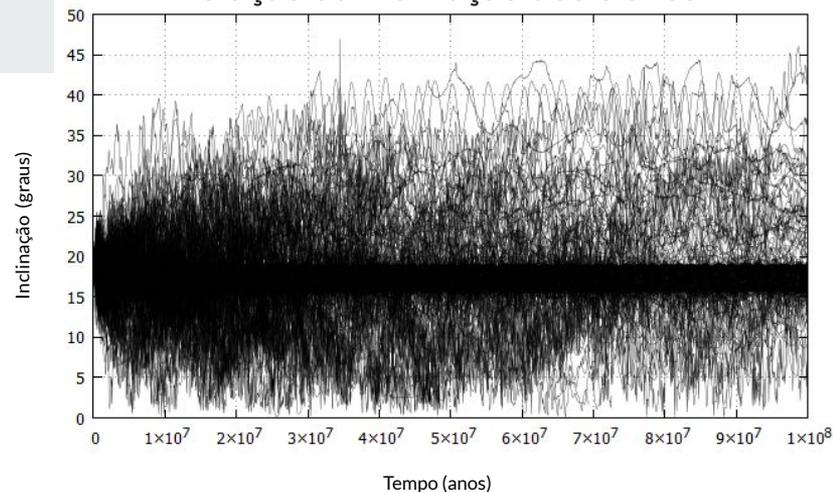
Houve um total de 95910 encontros próximos dentro de $1 R_{\text{Hill}}$;

376 (41,8%) dos clones foram ejetados (critério de ejeção: $r > 250\text{ua}$);

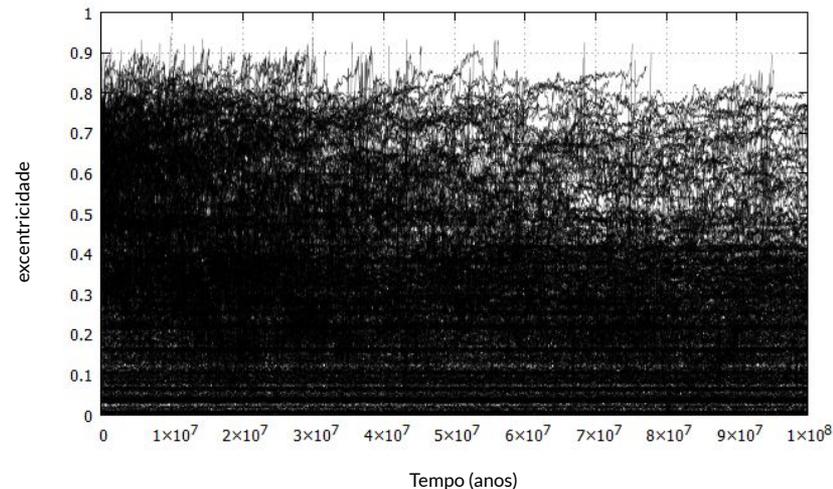
Devido à instabilidade do objeto, ele não é originário dessa região;

O VD24 de 2013 pode ter se originado na região interna do sistema e ter sido lançado para a região transnetuniana. Também pode ter se originado em outra região e capturado durante uma passagem próxima.

Evolução da inclinação dos clones



Evolução da excentricidade dos clones



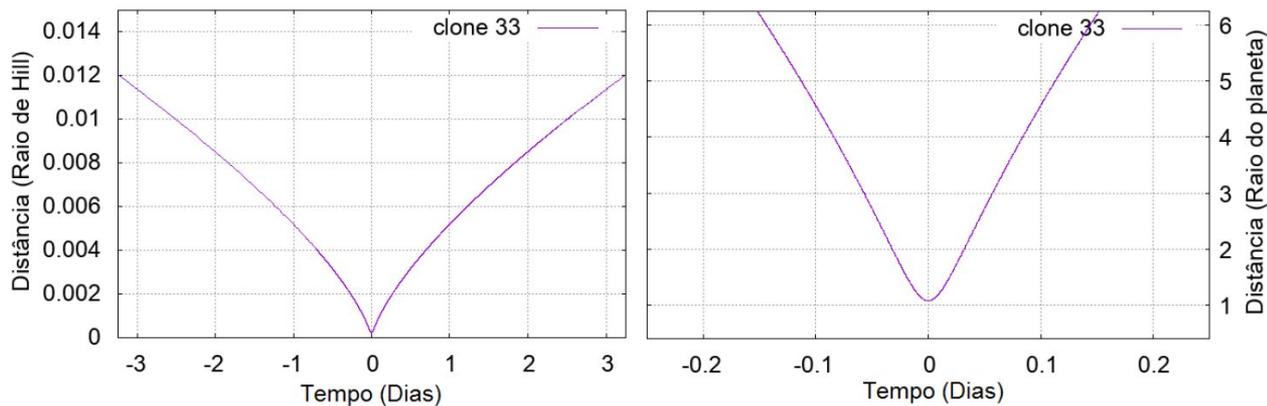
TNO 2013 VD24

O clone 33 fica 1285 dias dentro da distância de 1 Raio de Hill de Netuno;

O objeto demora 655 dias até chegar na aproximação máxima e 630 dias se afastando de Netuno;

Um encontro dessa magnitude facilmente poderia desprender um objeto binário ou varrer os anéis de Chariklo, resultando em um encontro catastrófico.

Aproximação máxima do Clone 33 e Netuno: $t = 0$ corresponde ao instante de máxima aproximação (incremento de tempo entre os gráficos varia)



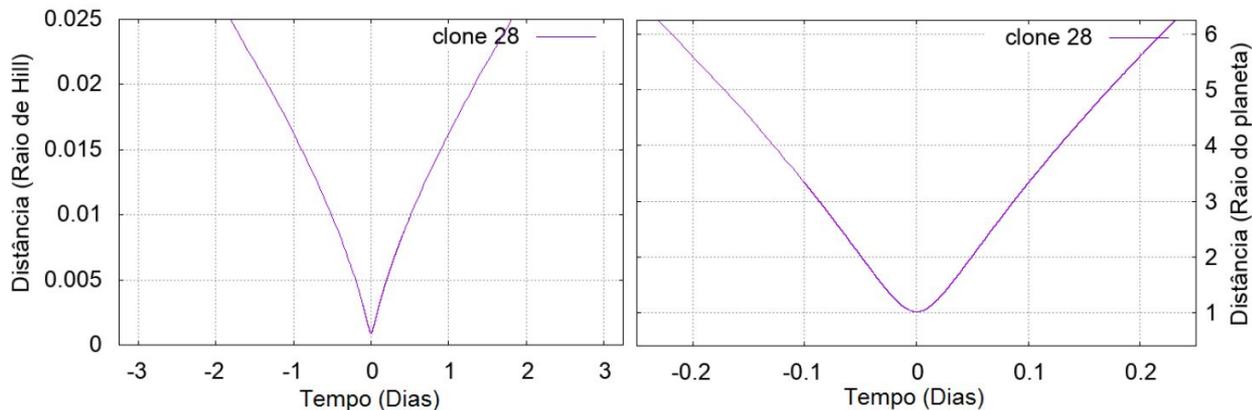
TNO 2013 VD24

O clone 28 permanece 370 dias dentro da distância de 1 Raio de Hill de Saturno;

O objeto demora 180 dias até chegar na aproximação máxima e 190 dias se afastando de Saturno;

O objeto ao se aproximar tanto do planeta poderia também eventualmente ser rompido por forças de maré;

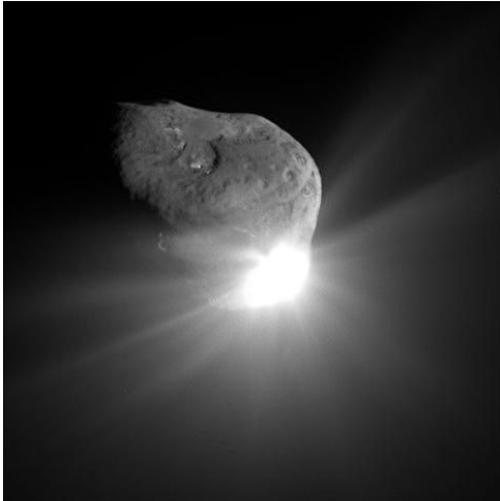
Aproximação máxima do Clone 28 e Saturno: $t = 0$ corresponde ao instante de máxima aproximação (incremento de tempo entre os gráficos varia)



Considerações finais

Desenvolvemos uma ferramenta para estudar pequenos corpos do Sistema Solar com ótimo desempenho computacional;

Verificamos que o VD24 2013 tem uma órbita instável, sendo que em 100 Milhões de anos quase 50% dos clones são ejetados;



68,35% dos 95910 encontros próximos foram com Netuno;

Estamos analisando a evolução orbital do cometa 2014 UN271, descoberto por Bernardinelli – Bernstein, considerando os diferentes valores dos elementos orbitais disponíveis na literatura.