

Objetivo

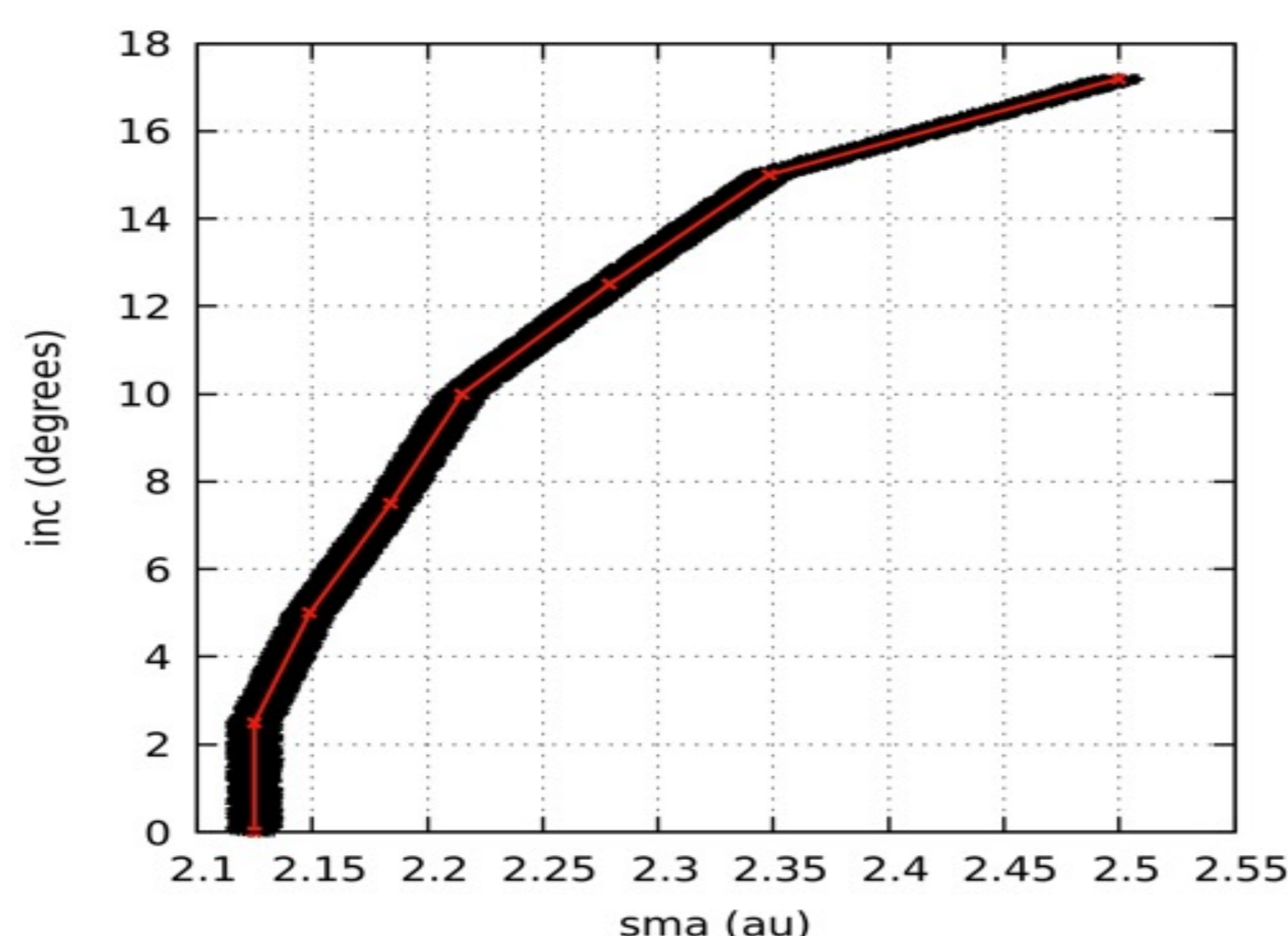
O objetivo deste trabalho é estudar a evolução orbital do asteroide Ryugu, para computar a radiação solar devida a uma aproximação com o Sol e a radiação acumulada na superfície do asteroide desde o momento em que ele se torna um NEA (*Near-Earth Asteroids*) até o presente momento, de modo que possa estimar o seu grau de envelhecimento espacial (*Space Weathering*).

Introdução

- NEA - Near-Earth Asteroids
- A origem mais provável para o reabastecimento dos NEAs é a região do cinturão principal de asteroides, as duas ressonâncias mais conhecidas para que isso ocorra são a ressonância de movimento médio 3:1, e a ressonância de movimento secular ν_6 ;
- É importante entender a composição e as características destes corpos, assim compreender o processo que dá origem a eles e analisar como evoluem dinamicamente;
- Space Weathering – Envelhecimento Espacial
- O processo associado à exposição direta ao ambiente solar, é conhecido como envelhecimento espacial (*space weathering*);
- O envelhecimento espacial afeta propriedades espectrofotométricas dos asteroides, dependendo de sua órbita, da idade e das propriedades físicas dos materiais de sua superfície;
- A intensidade do processo do envelhecimento espacial depende da distância heliocêntrica e dos efeitos ópticos das propriedades químicas e físicas das superfícies planetárias, neste trabalho foi considerado o envelhecimento espacial como sendo a radiação solar recebida no asteroide.
- Asteroide 162173 – Ryugu
- O objeto estudado foi o asteroide (162173) Ryugu, pois recentemente a missão Haybusa2 mostrou que foi detectada a presença do efeito de envelhecimento espacial em sua superfície;
- Segundo Campins et al. (2013), a sua fonte mais provável é o escape do cinturão principal com a ação da ressonância ν_6 ;
- Para explicar o efeito de envelhecimento, foi sugerido por Morota et al. (2020) que o asteroide Ryugu experimentou em sua vida uma aproximação com o Sol, no qual ocorreu depois que sua órbita mudou do cinturão principal para sua órbita próximo a Terra, e os limites de idade superior e inferior do envelhecimento da superfície, são de $\sim 8\text{Ma}$ e $\sim 0,3\text{Ma}$.

Metodologia

- Utilizou-se o integrador Mercury, cujas rotinas computacionais foram adaptadas visando registrar a distância do asteroide ao Sol ao longo do tempo;
- Escolheu-se um grupo de 7.000 clones, divididos em 7 regiões, distribuídos aleatoriamente, inicialmente no cinturão principal interno, na região sob a influência da ressonância ν_6 . As órbitas destes clones foram integradas para o futuro por 100 milhões de anos;



Fonte: Realizada pelo autor

- Criou-se também uma rotina para separar os clones que tiveram êxito ao chegarem na órbita desejada e outra para computar a somatória de $1/r^2$ para verificar a radiação acumulada de cada clone.

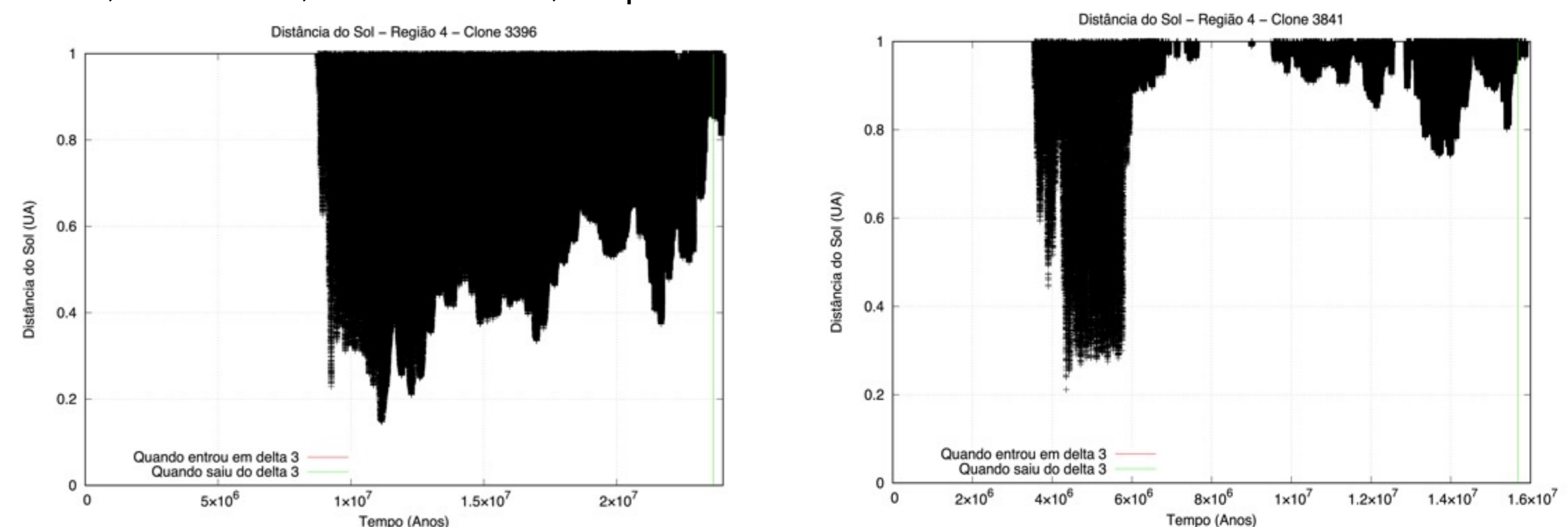
Resultados e Discussão

A tabela a seguir contém os clones que entraram na vizinhança da órbita atual de Ryugu.

	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	Região 5	Região 6	Região 7	Total
δ_1	12	8	11	4	0	0	1	36
δ_2	9	7	2	1	0	0	0	19
δ_3	10	2	1	3	0	0	0	16
Total	31	17	14	8	0	0	1	71

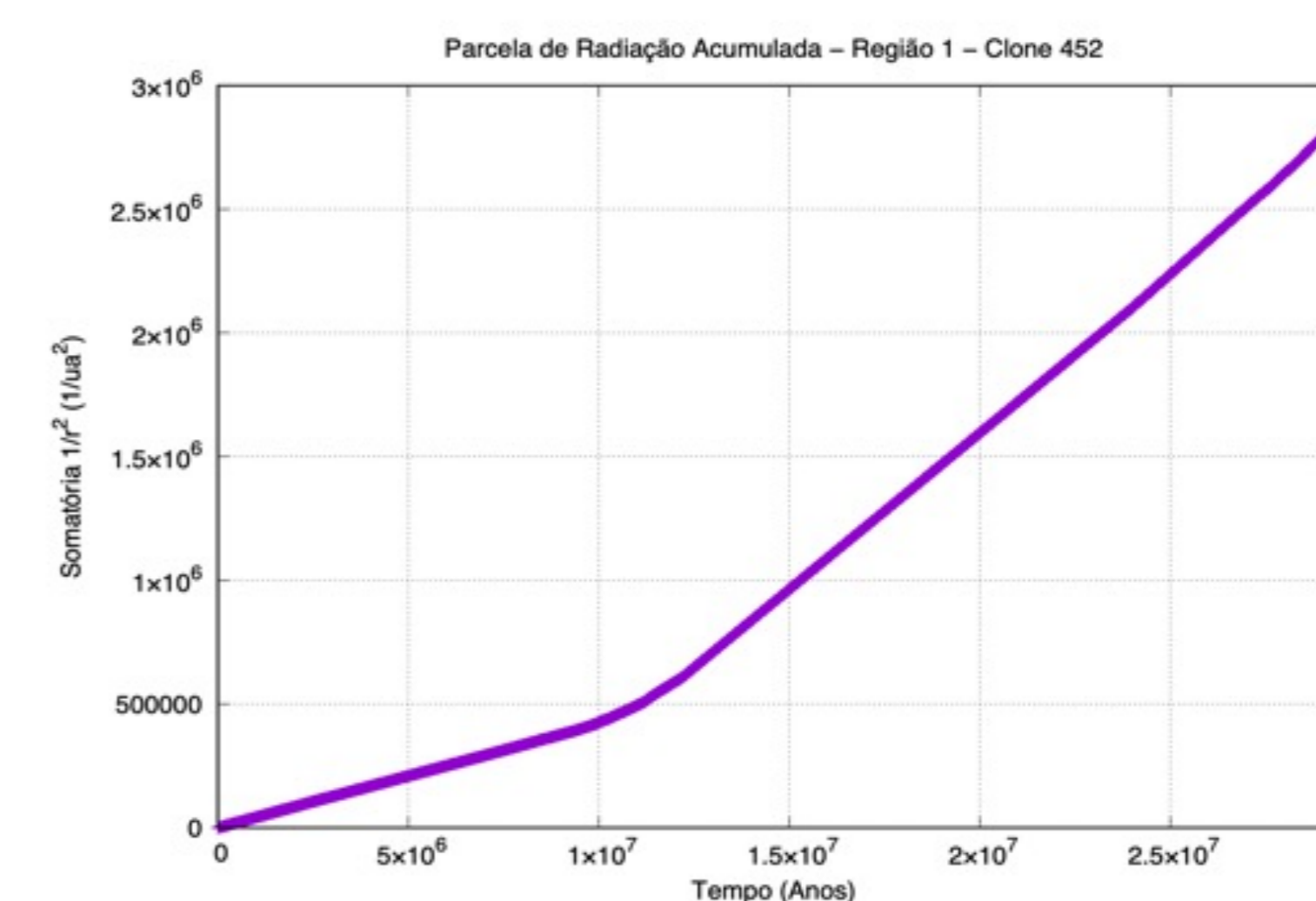
Fonte: Realizada pelo autor

- Estudou-se somente os clones que atingiram as órbitas bem próximas à órbita atual de Ryugu (δ_3);
- Averiguando os dados desses clones, a grande maioria sai da faixa orbital do atual Ryugu por volta de 20 Ma;
- Analisando a evolução orbital de cada clone, verificou-se a ocorrência de encontros próximos do Sol, onde recebeu um alto nível de radiação solar num curto período de tempo;
- Os clones que chegam mais perto do Sol foram os 3396 e o 3841, os quais chegaram a 0,145 ua e 0,212 ua do Sol, respectivamente.



Fonte: Realizada pelo autor

- Para o cálculo do acúmulo da radiação que cada clone recebeu ao longo de sua vida, usou-se a fórmula de irradiância solar, onde ela é proporcional ao $1/r^2$ da distância do sol-asteroide que varia com o tempo, desta forma foi somada a parcela de cada $1/r^2$ ao longo de sua vida.
- Realizou-se os gráficos das parcelas de $1/r^2$, e verificou-se que o clone que recebeu mais radiação acumulada foi o 452, note que não foi o mesmo que houve o maior encontro com o Sol.



Fonte: Realizada pelo autor

Conclusão

A partir de observações da missão Haybusa 2, foi verificado que o asteroide Ryugu pode ter tido o efeito de envelhecimento espacial em sua superfície. Onde ocorreu um encontro próximo ao Sol, ou/e houve um grande acúmulo de radiação em sua superfície ao longo dos anos.

Nessa pesquisa verificou-se que pode sim ter havido encontros próximos ao Sol, e que ocorreram entre os limites $\sim 0,3\text{UA}$ a $\sim 8\text{UA}$, em concordância com limites encontrados nos textos de Morota et al. (2020), porém obtiveram êxito somente uma quantidade pequena de clones. Desta forma, para aumentar o número de casos está sendo estudado atualmente mais clones nas regiões iniciais dos 16 clones estudados nessa pesquisa.

Referências

CAMPINS, H. et al. The Origin of Asteroid 162173 (1999 JU3). *The Astronomical Journal*, v. 146, n. 2, p. 26, 2013.

MOROTA, T. et al. Sample collection from asteroid (162173) Ryugu by Haybusa2: Implications for surface evolution. *Science*, v. 368, n. 6491, p. 654–659, 2020.