

POTENCIALIDADES DOS CONCEITOS DE FORMAÇÃO PLANETÁRIA COMO ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR DO ENSINO DE COLISÕES NOS CURSOS DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA

Lucas Nunes Rosa¹, Bruno Leonardo do Nascimento Dias²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, *campus* Nilópolis,

lucas.nuunes@hotmail.com

²Universidade Federal de Juiz de Fora – Departamento de Física

bruno.astrobio@gmail.com

Palavras-chave: Ensino de física; Formação planetária; Ensino de colisões.

Resumo expandido

O objetivo deste trabalho é desenvolver conceitos físicos relacionados às colisões mecânicas de forma contextualizada à teoria de formação de planetas. A teoria de formação de planetária vigente atualmente na Astronomia possui influência direta, ainda que qualitativamente, do filósofo alemão Immanuel Kant. Em 1755, Kant propunha, para o Sistema Solar, que:

Os planetas se formam em regiões do espaço que se estendem desde o centro onde se encontra o Sol até distâncias desconhecidas, contidas entre dois planos não muito distantes um do outro. (MARTIOLI, 2006, p. 36).

Com o avanço da tecnologia aplicada aos telescópios, o processo descrito por Kant tem sido observado em formações de planetas ao redor de outras estrelas, e não somente do Sol. As distâncias de formação dos planetas do Sistema Solar ao redor do Sol já são conhecidas. Além disso, os dados da dinâmica do Sistema Solar informam que os ângulos dos planos orbitais (inclinações orbitais) dos outros planetas em relação à eclíptica (plano orbital da Terra) possuem sete graus ou menos (MARTIOLI, 2006), com exceção de Plutão, rebaixado à categoria de planeta-anão em 2006. Dessa forma, em ocasiões pontuais, é possível considerar as órbitas dos planetas como sendo aproximadamente coplanares, como é o caso do Sistema Solar, conforme Figura 1.

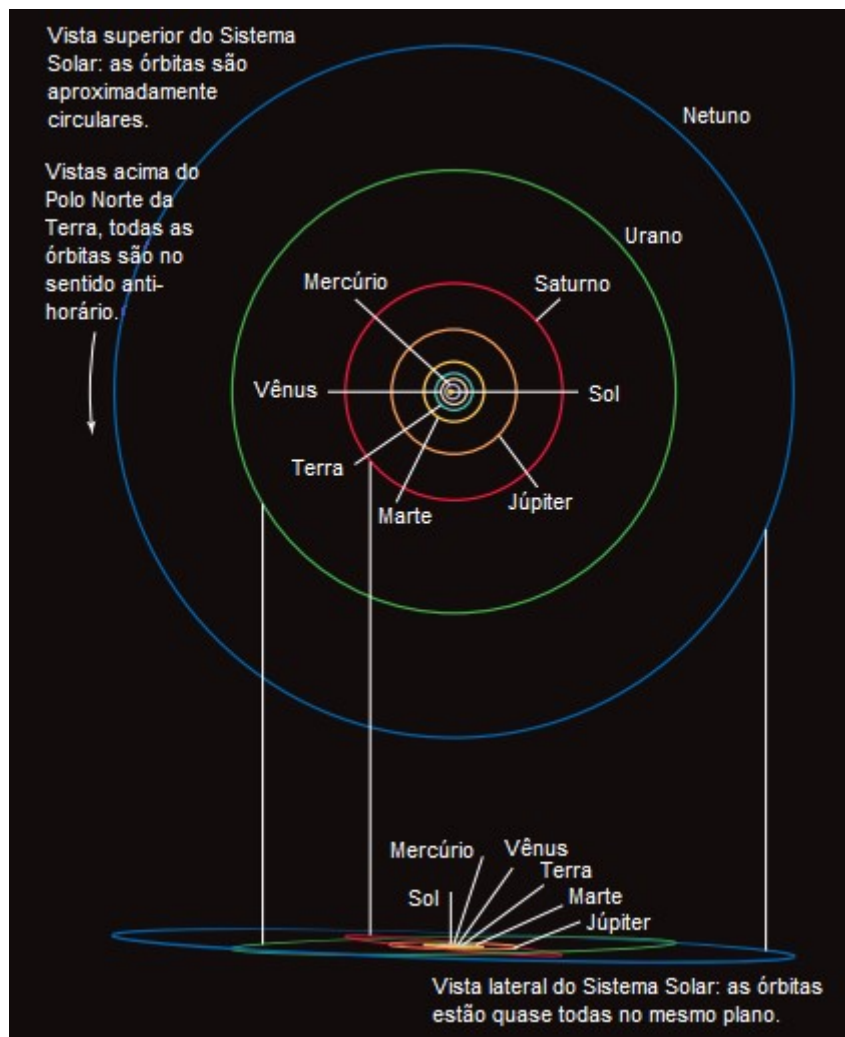


Figura 1: Distribuição das órbitas dos planetas ao redor do Sol. Todas as órbitas são anti-horárias quando vistas do Polo Norte da Terra. Olhando de uma posição acima do disco do Sistema Solar, a maioria das órbitas parece quase circular, com excentricidades bem próximas de zero. Olhando de uma posição lateral, percebem-se as órbitas em planos muito próximos uns dos outros. Esquema em escala, adaptado de Comins (2008).

De acordo com essa teoria, a formação de um sistema estelar se dá através do colapso gravitacional da nebulosa protoestelar, dando origem à formação da estrela na região central e do disco proroplanetário ao seu redor, constituído de gás e poeira, no qual se dará a formação dos planetas (OLIVEIRA FILHO, 2017).

O destino de qualquer partícula em estado sólido que estiver próxima o suficiente da protoestrela é a sua vaporização, devido à alta quantidade de energia recebida pela partícula. Entretanto, as que se encontrarem a uma determinada distância crítica da protoestrela sobreviverão em estado sólido, em formato de grãos interestelares ou em condensados juntos com o disco. As partículas que são mais massivas são atraídas para as regiões mais próximas do plano central do disco, devido à força de atração gravitacional, vide processo descrito na Figura 2.

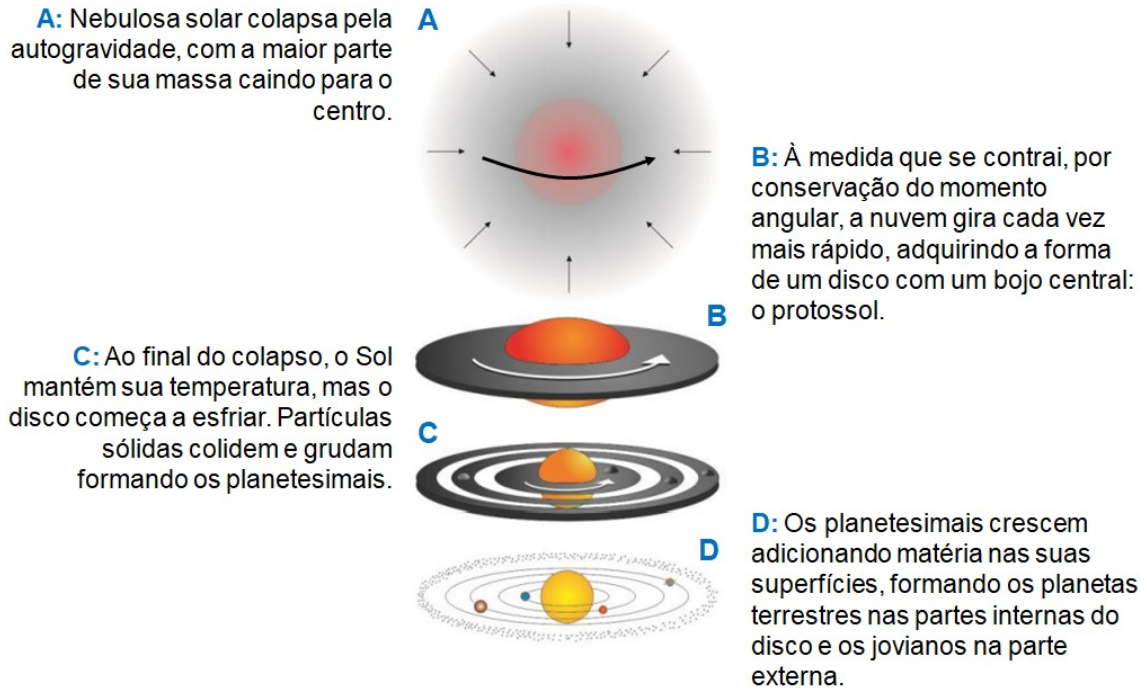


Figura 2: Etapas de formação do Sistema Solar. Imagem adaptada de Saraiva *et al.* (2021).

Devido à atração gravitacional, mais grãos e poeiras interestelares se concentram nas regiões mais próximas do plano central do disco. Como consequência, as colisões existentes entre essas partículas tornam-se mais frequentes e intensas. Conforme a teoria de formação planetária, no decorrer de centenas de milhões de anos, grãos e poeiras interestelares colidem-se uns com os outros constantemente (MARTIOLI, 2006; PACHECO, 2020), isto é, são lançados uns contra os outros, podendo trocar energia e momento em consequência dessas interações (NUSSENZVEIG, 2013).

Em todo tipo de colisão mecânica, a energia mecânica e o momento linear totais das n partículas envolvidas na colisão se conservam. Neste último caso, a conservação só ocorre se as n partículas envolvidas nessas colisões estiverem isoladas de forças externas (NUSSENZVEIG, 2013). Dessa forma, podemos escrever que:

$$\begin{aligned}\Delta E_{mec} = 0 &\Rightarrow E_{mecf} - E_{mec0} = 0 \Rightarrow E_{mecf} = E_{mec0} \Rightarrow E_{mec} = constante \\ \Delta p_{sis} = 0 &\Rightarrow p_{sisf} - p_{sis0} = 0 \Rightarrow p_{sisf} = p_{sis0} \Rightarrow p_{sis} = constante\end{aligned}\quad (1)$$

Outra forma de escrever a conservação do momento linear total é:

$$\sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i0} = \sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{if} \quad (2)$$

As colisões entre partículas do disco protoplanetário podem ser dos tipos elástica ou inelástica (MARTIOLI, 2006; PACHECO, 2020). No caso de colisões totalmente inelásticas, a energia cinética final do sistema após a colisão (K_{sisf})

torna-se a menor possível se comparada com a energia cinética antes do choque (K_{sis_0}) (NUSSENZVEIG, 2013), ou seja:

$$K_{sis_f} \ll K_{sis_0} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot v_{sis_f}^2 \cdot \sum_{i=2}^{i=n} m_i \ll \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i_0}^2 \quad (3)$$

Além disso, as partículas envolvidas na colisão passam a se mover juntas após essa interação, formando um único corpo cuja massa total será a soma das massas das partículas envolvidas nessa interação, segundo Figura 3. Isso pode ser observado através da Equação (3) e da conservação do momento linear total:

$$\sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i_0} = v_{sis_f} \cdot \sum_{i=2}^{i=n} m_i \quad (4)$$

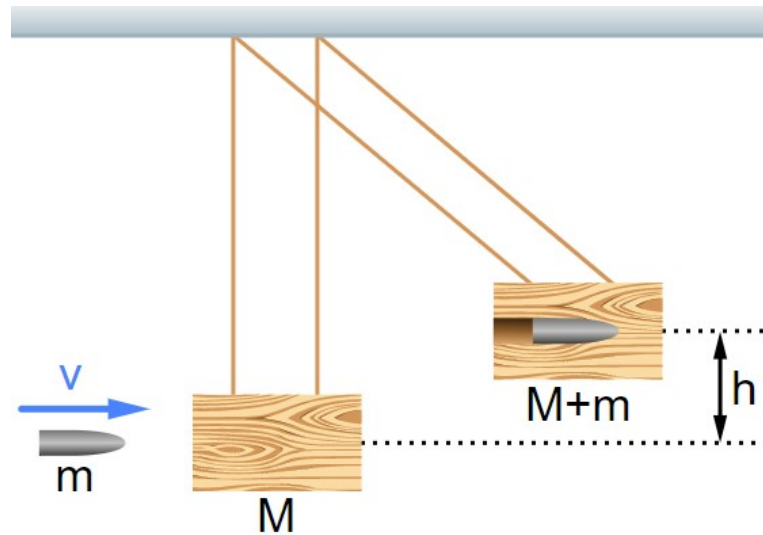


Figura 3: Pêndulo balístico. Um projétil de massa m e velocidade de módulo v , que colide com um bloco de madeira de massa M e fica encravado em seu interior, é um clássico exemplo de colisão totalmente inelástica abordado nos cursos e livros didáticos de Física Básica I. Wikimedia (2020).

Pela própria natureza desse tipo de colisão, conclui-se que, ao colidirem, esses grãos e poeiras, que antes se encontravam distantes uns dos outros, grudam-se uns nos outros, conforme Figura 4, formando um só corpo chamado de montículo, que pode ter dimensão de até 30 cm. Esses montículos, por sua vez, passam a ganhar mais massa através da acreção (acumulação de matéria na superfície de um corpo) de partículas que cruzam suas órbitas (MARTIOLI, 2006; PACHECO, 2020).

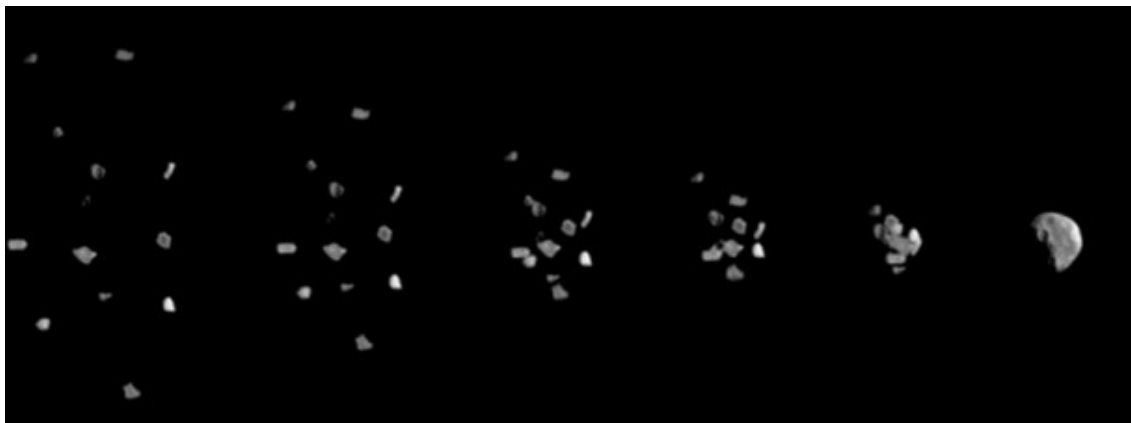


Figura 4: Esquema ilustrando o processo de formação do asteroide 2015 TC25, um dos menores e mais próximos (da Terra) asteroides já detectados, com 4 m de diâmetro e $1,4 \cdot 10^4$ kg de massa. Partículas e grãos colidem uns com os outros inelasticamente grudando-se uns nos outros, formando corpos cada vez maiores. Butler (2020).

Caso as velocidades dos corpos antes da colisão sejam pequenas – consideradas adequadas para aglutinação –, por adquirirem velocidades menores do que aquelas que possuíam antes da colisão, recairão no corpo principal, aglutinando-se. Nesses casos, onde as colisões são completamente inelásticas, o módulo da velocidade final de todo o sistema depois dessa colisão pode ser calculado ao isolar v_{sisf} na Equação (4):

$$v_{sisf} = \frac{\sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i0}}{\sum_{i=2}^{i=n} m_i} \quad (5)$$

As colisões totalmente inelásticas entre os corpos, apesar de serem fatores fundamentais na explicação da agregação de matéria, não são suficientes para explicar exatamente como se dá a evolução de massa ao ponto de formar corpos maiores, chamados de planetesimais¹ (MARTIOLI, 2006). Esses processos têm continuidade com o passar do tempo e em escalas maiores, levando à formação de planetesimais com dimensões de 10 e 200 km, vide Figura 5, em cerca de cem mil anos (PACHECO, 2020). Esses planetesimais, por possuírem massas suficientemente grandes para darem continuidade ao processo de acúmulo de massa através da atração gravitacional, se tornarão planetesimais cada vez maiores, chamados protoplanetas. São através da continuação e evolução do processo descrito acima, com o passar de milhões de anos, que são formados os planetas rochosos.

¹ Há outras explicações adicionais no que se refere às formações dos planetesimais, mas que não o são o foco deste trabalho. Mais informações podem ser consultadas em Martioli (2006) e Pacheco (2020).

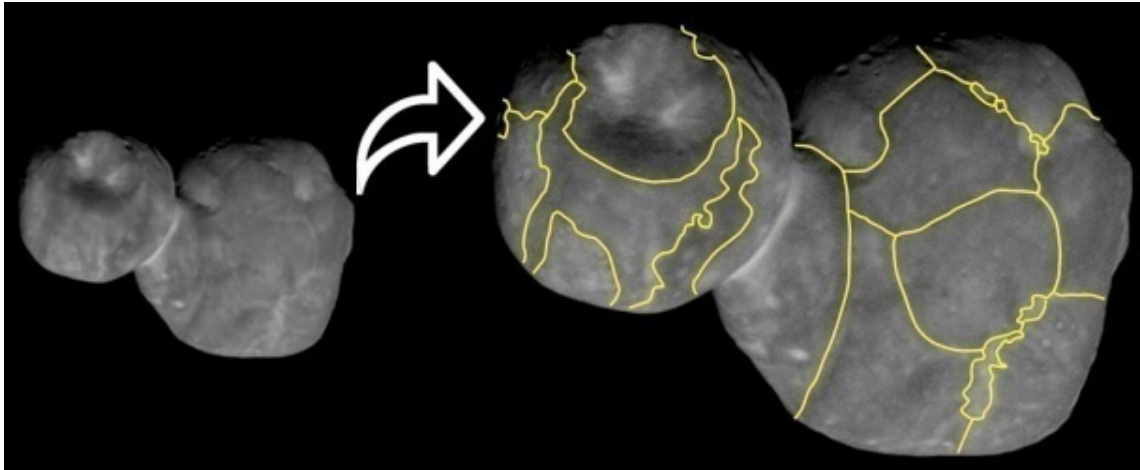


Figura 5: Considerado um planeta menor como Plutão, 486958 Arrokoth foi descoberto pela equipe de busca da New Horizon através do Telescópio Espacial Hubble, em 26 de junho de 2014, localizado no Cinturão de Kuiper. Possui 36 km de diâmetro, $9,98 \cdot 10^{12}$ kg de massa e dois lóbulos de colidiram lentamente. As linhas amarelas indicam que foi construído pela coalescência de alguns planetesimais menores. Butler (2020).

Nesse estágio, as colisões entre planetesimais são processos que ainda não são compreendidos por completo na teoria de formação de planetas, uma vez que essas colisões não são necessariamente inelásticas, segundo Figura 6. Em outras palavras, essas colisões podem ser perfeitamente elásticas e não haveria a aglutinação de matéria. Nesses casos, além da conservação do momento linear total do sistema considerado isolado, também haverá a conservação da energia cinética do sistema (NUSSENZVEIG, 2013):

$$K_{sis_f} = K_{sis_i} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i_f}^2 = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=2}^{i=n} m_i \cdot v_{i_0}^2 \quad (6)$$

Em colisões perfeitamente elásticas, a conservação do momento linear total pode ser escrita pela Equação (2):



Figura 6: Os choques que ocorrem entre bolas de bilhar, outro exemplo comumente abordado nos cursos de Física Básica I, são considerados colisões completamente elásticas. Teixeira (2021).

Se essas colisões frontais forem muito brutas, ou seja, se as velocidades dos planetesimais antes da colisão forem muito altas (consideradas não ideais para aglutinação de matéria), pode existir a destruição de um ou de ambos os planetesimais, não levando necessariamente a uma agregação dos corpos, conforme Figura 7.



Figura 7: Impressão artística de uma colisão entre dois planetesimais orbitando a estrela Fomalhaut. Dunham (2020).

Explorar a teoria de formação de planetas é mais uma excelente oportunidade de contextualização do ensino de colisões mecânicas nos cursos de graduação em Licenciatura em Física. Considera-se que as associações realizadas neste trabalho possam motivar e despertar o interesse dos estudantes na aprendizagem dos conteúdos de Física abordados, pois a formação planetária tem sido um tema de grande desenvolvimento e interesse na Astronomia e, em geral, os estudos relacionados ao Universo são bem aceitos pelos discentes (BORRAGINI *et al.*, 2013).

Referências bibliográficas

BUTLER, David. **Classroom Aid – Planetesimals**, 25 de junho de 2020. 01 vídeo (03 min 55 s). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9ljeG5B2bPc>>. Acesso em: 25 de janeiro de 2021.

COMINS, N.F.; KAUFMANN III, W.J. **Discovering the Universe**. 8. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2008.

DUNHAM, Will. TheStar, 2020. **Scientists observe celestial smash-up around nearby star**. Disponível em:

<<https://www.thestar.com.my/news/world/2020/04/22/scientists-observe-celestial-smash-up-around-nearby-star>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2021.

ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, IX., 2013, Águas de Lindóia, São Paulo. Prática docente em Astronomia: investigando a dimensão dos conteúdos. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Águas de Lindóia, São Paulo. 10 a 14 de novembro de 2013.

MARTIOLI, Eder. **Exoplanetas: O que são e como detectá-los**. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, São Paulo, 2006.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de Física Básica 1: Mecânica**. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **Astronomia&Astrofísica**. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 01 de janeiro de 2017.

PACHECO, José Antônio de Freitas. **Vida no Universo**. São Paulo: EDUSP, 01 de janeiro de 2020.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira *et al.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Física. **Aula 9: Sistema Solar – Propriedades Físicas dos Planetas**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula9-132.pdf>>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2021.

TEIXEIRA, M.M. UOL – Mundo Educação, 2021. **Colisões elásticas e inelásticas**. Disponível em: <<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/colisoes-elasticas-inelasticas.htm>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2021.

Wikimedia Commons, 2020. **Sketch of a ballistic pendulum**. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sketch_of_a_ballistic_pendulum.svg>. Acesso em 01 de fevereiro de 2021.