

## MAIS CIÊNCIA

### O SISTEMA SOLAR REVISTO

*Thais Mothé-Diniz*

*Jaime F. Villas. da Rocha*

Recentes descobertas têm modificado nossa compreensão dos sistemas planetários, e a União Astronômica Internacional (UAI) se preocupa em fazer com que a nomenclatura dos objetos reflita esta compreensão. Neste artigo, trataremos da evolução destes conceitos até a compreensão atual do que é um planeta, falaremos dos objetos que se encontram nos confins do Sistema Solar e as razões que levaram astrônomos ao grande debate que culminou na alteração do status de Plutão e de outros corpos menores do Sistema Solar.

A reclassificação de Plutão como um planeta anão pela União Astronômica Internacional constitui-se no desfecho de uma polêmica existente praticamente desde sua descoberta em 1930. Na verdade, esta decisão não envolve só Plutão, mas é um rearranjo de conceitos praticamente necessário dado o desenvolvimento de nossa compreensão

do Sistema Solar. Tal compreensão se deu em duas direções principais articuladas. A primeira, a tentativa de mapear os limites do Sistema Solar, quantos corpos - e de que tipo - ali se encontram. A segunda direção foi a da investigação da história de sua estrutura. Uma investigação de fundo mais teórico, porque envolve também nossas concepções de como os corpos de nosso sistema devem se comportar. Utilizando estas regras procuramos deduzir sua evolução a partir de sua configuração atual. Por isto dizemos que as duas direções estão articuladas, e estão presentes não só na nova classificação de Plutão, mas na de todos os corpos menores do Sistema Solar como cometas e asteróides e os recém-batizados planetas-anões. Dizemos isto exatamente porque todos os conceitos de corpos do Sistema Solar vêm sendo revistos, tais como o entendimento dos cometas e asteróides, como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Conceitos de Cometa e Asteróide

	<i>Conceito Anteriormente aceito</i>	<i>Conceito Atualmente aceito</i>
<b>Asteróide</b>	Corpo único, rochoso	composto ou não por vários corpos em contato, compostos de silicatos hidratados ou não e/ou ferro.
<b>Cometa</b>	“bola de gelo suja”	“bola de poeira úmida”

## Um pouco de história: a descoberta de Plutão:

Tudo começou com a descoberta casual de Urano, em 1781 pelo astrônomo da corte inglesa William Herschel (1738-1822). Tal feito constituiu-se na identificação do primeiro planeta com o uso de telescópio juntando-se o novo astro ao conjunto dos cinco corpos errantes (sentido original do termo planeta, por estes astros se moverem tendo ao fundo as estrelas). A estes cinco, as elaborações de Galileu Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) e Isaac Newton (1642-1727) acrescentaram a Terra e colocaram o Sol definitivamente no centro do sistema. O segundo objeto do Sistema Solar descoberto por um telescópio foi o asteróide (1) Ceres<sup>1</sup>. Ceres foi descoberto por casualidade em 1801, pelo astrônomo italiano Giuseppe Piazzi (1746-1826), recebendo a denominação de Ceres Ferdinanda em honra à figura mitológica Ceres e ao Rei Ferdinando IV de Nápoles e da Sicília. O termo Ferdinanda logo caiu em desuso. Piazzi descobriu Ceres porque buscava um planeta entre as órbitas de Marte e Júpiter, pois na época acreditava-se na hipótese de que os semi-eixos das órbitas dos planetas seguiam uma lei matemática simples (Regra de Titius-Bode, Apêndice A) relacionada à sua distância ao Sol. A regra funcionava muito bem para os planetas clássicos conhecidos na época: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter e Saturno, e dizia que “faltava” um planeta entre Marte e Júpiter. Posteriormente, com a

descoberta de Netuno, viu-se que o mesmo “violava” a regra, e atualmente não se tem uma explicação teórica sólida para esta lei, acreditando-se que seja simplesmente uma coincidência numérica para alguns dos corpos do Sistema Solar. Ceres foi considerado planeta por quase 30 anos, e reclassificado como asteróide seguindo a descoberta de outros corpos menores nas vizinhanças de sua órbita.

Alguns anos mais tarde, irregularidades associadas à órbita de Urano, ou seja, desacordos entre as observações e as posições previstas, levaram os astrônomos a sugerirem a existência de um outro planeta, com órbita mais externa que a de Urano. Dadas as regras de Newton para o movimento dos corpos e sua atração gravitacional (mais conhecidas como as três Leis de Newton para a dinâmica e a Lei da Gravitação Universal de Newton), estas perturbações só poderiam ser explicadas pela presença de um planeta para além da órbita de Urano. Cálculos foram empreendidos basicamente por dois matemáticos, o inglês John Couch Adams (1819-1892) e o francês Urbain Le Verrier (1811-1877) para prever onde estaria este planeta, e uma busca foi iniciada, resultando na descoberta de Netuno - que, por um feliz acaso, se encontrava numa posição favorável para ser identificado - pelo astrônomo alemão Johann Galle (1812-1910) em 1846. Entretanto, as irregularidades aparentemente permaneciam e, pior, agora apareciam também na órbita de Netuno. Diversos astrônomos interpretaram estas irregularidades como sendo causadas por um planeta adicional, ainda mais distante. Entre estes astrônomos

<sup>1</sup> De acordo com a UAI, a nomenclatura dos asteróides é um número entre parênteses correspondente à sequência da boa determinação de sua órbita acompanhado do nome ou designação provisória

estava Percival Lowell (1855-1916), que calculou a posição onde deveria estar o nono planeta, então apelidado “Planeta X”, e construiu um observatório para a busca, o “Lowell Observatory”. Plutão só foi descoberto em 1930, após a morte de Lowell, pelo astrônomo americano Clyde Tombaugh (1906-1997), que trabalhava no “Lowell Observatory”. Quanto às irregularidades nas órbitas de Urano e Netuno, hoje sabemos que eram devidas a incorreções na estimativa da massa destes objetos, e não causadas pela atração gravitacional de um planeta desconhecido. Na verdade, podemos dizer que Tombaugh teve sorte na descoberta de Plutão, um objeto muito fraco nas placas fotográficas, e que, alguns anos antes, havia passado despercebido pelo próprio Lowell.

Já na época de seu descobrimento, Plutão foi considerado um planeta “anômalo”. A primeira anomalia era o fato de sua órbita ser muito mais distante de um círculo – dizemos mais excêntrica – do que a de todos os demais planetas. A segunda anomalia é o fato de sua órbita ser ainda demasiadamente inclinada com relação ao plano das órbitas de todos os demais planetas. Além disso, seu diâmetro era muito inferior a todos os demais (possui apenas 18% do diâmetro da Terra). Posteriormente, viu-se ainda que, pela composição, Plutão não se encaixava nem na categoria de planeta rochoso, e nem na de planeta gasoso. A densidade de Plutão (bem como a do maior de seus satélites, Caronte) é aproximadamente duas vezes a da água, o que indica que é composto por uma mistura de gelo e material rochoso.

A técnica utilizada pelos astrônomos

para identificar a composição de um corpo do Sistema Solar chama-se análise do espectro de reflexão, ou seja, o que é analisado é a luz do Sol refletida pelo corpo. Através desta técnica, além do gelo de água (H<sub>2</sub>O), comum em todo o Sistema Solar, até o momento foram detectados três tipos de gelo na superfície de Plutão: boa parte da superfície é recoberta de nitrogênio congelado (N<sub>2</sub>) e Metano (CH<sub>4</sub>), com pequenas quantidades de monóxido de carbono congelado (CO). Estima-se que a temperatura superficial em Plutão seja de aproximadamente -233°C (ou seja, apenas 40 graus acima do zero absoluto, 40 Kelvin). O conjunto das características de Plutão fez com que por muitos anos ele fosse considerado *Um “estranho” mundo gelado, em uma órbita “diferente”*.

### **Outros objetos como Plutão?**

Muitos anos se passaram até que Plutão deixasse de ser considerado um objeto “diferente” no Sistema Solar. O astrofísico norte-americano Frederick Charles Leonard (1896-1960) e posteriormente em 1943 o astrônomo, economista e engenheiro Kenneth Essex Edgeworth (1880-1972) foram os primeiros a sugerir que Plutão não era único, mas que existiria uma miríade de objetos gelados orbitando em um disco localizado para além de Netuno, e que Plutão seria o mais brilhante destes objetos. Em 1951 o astrônomo holandês Gerard Peter Kuiper, (1905-1973) atribuiu à existência deste disco a fonte dos cometas de curto período (períodos menores que 200 anos).

**Figura:**



**Figura 1:** Concepção artística em escala de tamanho, mas não de distância da resolução final tomada na Assembléia Geral da UAI. A figura mostra os oito planetas “clássicos”, e os três planetas anões. Crédito: The International Astronomical Union/Martin Kornmesser

Este disco foi denominado Cinturão de Edgeworth-Kuiper, ou simplesmente Cinturão de Kuiper.

Nos anos subseqüentes, as buscas por objetos do Cinturão de Kuiper foram infrutíferas, nenhum objeto foi detectado, e o cinturão caiu no esquecimento. Na década de 1980, o astrônomo uruguaio Julio Fernandez (1946-) apresentou fortes evidências matemáticas de que somente uma estrutura como o Cinturão de Kuiper poderia explicar o grande número de cometas de curto período com órbitas próximas ao plano do Sistema Solar, dando materialidade às hipóteses anteriormente levantadas. Foi preciso mais uma década ainda para que observações diretas de corpos além da

órbita de Plutão dessem consistência a todos esses esforços.

O primeiro objeto do cinturão de Edgeworth-Kuiper, assim, só foi detectado ao telescópio em 1992, em Mauna Kea, Havaí, mais de 60 anos depois da descoberta de Plutão! Desde então já foram observados mais de 1.000 destes objetos com diâmetros entre 50 e 2.000 km. Estimativas atuais, baseadas no número de objetos descobertos até o momento e na fração do céu que foi “varrida” nas buscas, indicam que existe ao menos 100.000 objetos gelados com diâmetros maiores do que 10 km.

Com a descoberta observacional do Cinturão de Kuiper, Plutão deixou de ser um corpo anômalo, mas passou a fazer

parte de um grupo de objetos, equivalente ao Cinturão de Asteróides que está localizado entre as órbitas de Marte e Júpiter, mas na parte externa do Sistema Solar, na região “gelada” que se estende desde a órbita de Netuno até aproximadamente 50 UA, isto é 50 vezes a distância média da Terra ao Sol, sendo 1 UA cerca de 150 milhões de quilômetros.

Um resultado recente sobre o Cinturão de Kuiper é que, da mesma forma que Plutão, muitos de seus objetos descobertos até agora encontram-se em ressonância 2/3 de movimento médio com Netuno. Isto significa que eles completam três órbitas em torno do Sol no mesmo tempo que Netuno completa duas órbitas. Estes objetos são denominados “Plutinos”, por sua semelhança “dinâmica” com Plutão.

### **Ampliando nossa visão de Sistema Solar**

Poderíamos pensar que o Sistema Solar “termina” nas fronteiras do Cinturão de Kuiper. Mas não... há mais! Antes mesmo de propor a existência do Cinturão de Kuiper, astrônomos já previam a existência de outra estrutura, uma hipotética nuvem esférica de objetos que, segundo a proposta de Ernst Öpik (1893-1985), em 1932, seria a fonte dos cometas. Em 1950, o astrônomo holandês Jan Hendrick Oort (1900-1992) reviveu esta hipótese, propondo a existência desta estrutura esférica, atualmente denominada Nuvem Oort, como solução para uma aparente contradição: após várias passagens pelo Sistema Solar interno, os cometas têm sua atividade extinta. Se todos os

cometas que observamos existissem no Sistema Solar interno desde o início da formação deste, todos já teriam sido extintos. Como resultado de suas observações de cometas de longo período, Oort sugeriu que a maior parte deles deve estar entrando no Sistema Solar interno pela primeira vez. Caso contrário, suas órbitas já teriam sido modificadas por perturbações gravitacionais devidas aos planetas gigantes. Ele também verificou que os cometas de longo período parecem vir de distâncias de aproximadamente 50.000 UA. Cálculos recentes sugerem que este “reservatório” dos cometas de longo período estende-se de 50.000 a 100.000 UA.

Podemos dizer que os objetos do cinturão de Kuiper e da nuvem de Oort são objetos Trans-Netunianos, isto é, são objetos que orbitam o Sol a uma distância média maior que a de Netuno.

### **O Debate de 2006 da União Astronômica**

A descoberta observacional do Cinturão de Kuiper, e mais recentemente, de objetos Trans-Netunianos de tamanho e órbita comparáveis aos de Plutão [(50000) Quaoar, (90377) Sedna e (136199) Eris, até bem pouco tempo atrás conhecido por sua designação provisória: 2003 UB313] levou astrônomos a novamente questionarem o status de Plutão no Sistema Solar. A situação era tal que ou estes corpos menores eram adicionados à lista oficial de planetas, ou Plutão deveria ser removido para que fosse assegurada uma consistência na definição. O exemplo mais forte é o do objeto trans-Netuniano (136199) Eris,

cujas atuais estimativas de diâmetro indicam ser ligeiramente maior do que Plutão, e por conseqüência deveria “merecer” ao menos o mesmo status de “planeta” que Plutão.

Além disso, o termo “planeta” vem do Grego “errante”, e o número de planetas foi definido historicamente, sem que nunca nos preocupássemos com uma definição precisa para o termo, sendo a de “corpo celeste que gira ao redor do Sol” uma das mais comuns nos dicionários atuais. O mesmo acontece com muitos outros termos fora da astronomia. Por exemplo, não existe uma definição precisa para “continente”. “Sabemos” o que é um continente, e isto nos tem bastado.

Durante a última Assembléia Geral da UAI, em agosto de 2006, após dois anos de trabalho na definição da diferença entre planetas e os corpos menores do Sistema Solar, astrônomos, escritores e historiadores membros do “Comitê de Definição de Planetas” propuseram uma definição que aumentaria o número de planetas para 12, com a inclusão do termo “Plutonianos”, ou “Plutons” em inglês, para a sub-classe de planetas “semelhantes a Plutão”. Nesta proposta os três novos planetas seriam Ceres, Caronte (satélite de Plutão, e assim Plutão se tornaria um “Planeta duplo”, e 136199, chamado Eris). Parte da comunidade não concordou com a proposta (em particular pesquisadores latino-americanos tiveram uma participação ativa na objeção, tais como Daniela Lazzaro, Gonzalo Tancredi e Julio Fernandez) e elaborou durante a reunião uma proposta alternativa, gerando grandes discussões durante as

duas semanas de reunião na República Tcheca. A seguir apresentamos a proposta alternativa aceita pela maioria dos membros presentes quando da votação, no último dia da Reunião.

### **A nova definição de Planeta**

A nova resolução da União Astronômica Internacional diz que Planeta é todo corpo celeste que cumpra as seguintes condições<sup>2</sup>:

1. Esteja em órbita em torno do Sol;
2. Tenha massa suficiente para que sua auto-gravidade se sobreponha às forças de um corpo rígido de modo que o corpo esteja em equilíbrio hidrostático, isto é, seja arredondado;
3. Que este corpo tenha “limpado” a vizinhança de sua órbita.

A UAI também introduziu uma nova terminologia em astronomia: a de Planeta Anão. Para um corpo ser um “Planeta Anão”, ele tem que cumprir as duas primeiras condições da definição de Planeta, e ainda:

1. Não ter limpado a vizinhança de sua órbita;
2. Não ser satélite de nenhum planeta.

Todos os demais objetos, exceto os satélites serão chamados de “Pequenos Corpos do Sistema Solar”.

A expressão “limpar a vizinhança de sua órbita” tem sido usada por astrônomos para se referirem a corpos (planetas ou protoplanetas) que eliminem outros objetos menores de sua vizinhança ao longo de um certo tempo, através de sua interação gravitacional com os

---

<sup>2</sup> [http://www.iau.org/fileadmin/content/pdfs/Resolution\\_GA26-5-6.pdf](http://www.iau.org/fileadmin/content/pdfs/Resolution_GA26-5-6.pdf)

mesmos, fazendo com que cresçam no corpo maior ou que suas órbitas sejam modificadas. Como consequência, na região orbital deste corpo não restarão outros objetos de tamanho significativo, mas tão somente seus próprios satélites ou outros corpos governados por sua influência gravitacional, tais como os objetos que se encontram em ressonância (os Troianos, em ressonância 1/1 com Júpiter, ou os Plutinos, em ressonância 2/3 com Netuno).

Assim, os oito planetas são: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Atualmente, há 3 planetas-anões: o até então asteroide (1) Ceres, Plutão, que agora tem o número de 134340 e 136199, que recebeu o nome de Eris. Na mitologia grega, Eris representa a deusa da discórdia, que teria lançado em banquete, ao qual não havia sido convidada, no Olimpo (a morada dos deuses) uma maçã de ouro (“o pomo da discórdia”) a ser dado à deusa mais bonita cuja disputa por Afrodite (Vênus), Hera (Juno) e Pallas-Atenas (Minerva) deu origem à guerra de Tróia. Claro, por ser Éris atualmente considerado maior que Plutão, tal denominação foi uma ironia pela discórdia que semeou entre os astrônomos. Éris possui um satélite, Disnomia, que segundo a lenda é sua filha e significa literalmente “desordem”.

### **Outros Sistemas, outros Planetas, outras regras...**

A atual definição de planeta não é válida fora dos limites do nosso Sistema Solar, e não se aplica a planetas extra-solares. A decisão sobre o que é um planeta em um Sistema Solar que não o

nosso é de competência do Grupo de Trabalho em Planetas Extra-Solares (WGESP) da UAI. O WGESP, ao invés de fornecer uma definição estrita de planeta, delineou as linhas de base para os cientistas que trabalham na detecção destes corpos baseados no conhecimento que hoje temos dos mesmos.

Estas linhas gerais são as seguintes<sup>3</sup>:

Objetos com massas inferiores à massa limite da fusão termonuclear do deutério (atualmente calculada em 13 massas de Júpiter para objetos com a mesma metalicidade<sup>4</sup> do Sol) e que orbitem estrelas ou sejam remanescentes estelares são “planetas”, independentemente de como estes objetos foram formados. A massa e diâmetro mínimos para um objeto extra-solar ser considerado planeta deve ser o mesmo usado em nosso Sistema Solar<sup>5</sup>.

Objetos sub-estelares com massas acima da massa limite descrita no item anterior são “anãs-marrom”, independentemente de como foram formados ou de onde estão localizadas.

Objetos errantes em aglomerados estelares jovens com massas abaixo da massa limite da fusão termonuclear do deutério não são “planetas”, mas “sub-anãs-marrom” (ou qualquer nome que seja mais apropriado).

<sup>3</sup> <http://www.dtm.ciw.edu/boss/definition.html>

<sup>4</sup> Metalicidade, como definida pelos astrônomos, é uma medida da proporção de elementos “pesados” ou “metais” que uma estrela contém. Em geral, a metalicidade é dada em termos da quantidade relativa de ferro e de hidrogênio presentes, que são determinadas pela análise de linhas de absorção em um espectro estelar, comparadas com o valor solar das mesmas.

<sup>5</sup> Com a nova definição de planeta da UAI esta última parte provavelmente será revista.

## Apêndice

### Lei de Titius- Bode

Existem atualmente várias diferentes formas de enunciar esta regra simples que estima o espaçamento dos planetas no Sistema solar. Sua primeira versão foi elaborada por Johann Titius em 1766 e foi formulada como uma expressão matemática por J.E. Bode em 1778. Sua primeira consequência foi a previsão, pelo próprio Bode, da existência de outro planeta entre o Marte e Júpiter em o que nós reconhecemos agora como o Cinturão de asteróides.

A lei relaciona as distâncias dos planetas ao Sol através de uma progressão com uma simples e compacta regra matemática. Abaixo a apresentamos passo a passo utilizando uma escala que ajusta a 1 a distância Terra-Sol, logo

fornece esta escala em Unidades Astronômicas (1 UA= 150 milhões de quilômetros)

- 1) Consideremos a sucessão de números: 3: 0, 3, 6, 12, 24 ,48, 96, 192, 384;...
- 2) Com a exceção dos dois primeiros, os outros são simplesmente o dobro do valor precedente.
- 3) Somando 4 a cada número, temos: 4 , 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196, 388,...
- 4) Dividindo cada um destes por 10, obtemos: 0,4; 0,7; 1; 1,6; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6; 38,8; ...

A sucessão resultante é muito perto da escala de distâncias médias dos planetas ao Sol (vide tabela abaixo).

Por motivos de ressonância, acredita-se hoje que Júpiter teria impedido a formação de um corpo de massa similar aos demais planetas rochosos entre ele e Marte.

Planeta	Distância Real (UA)	Lei de Bode (UA)
<b>Mercúrio</b>	0,39	0,4
<b>Vênus</b>	0,72	0,7
<b>Terra</b>	1,00	1,0
<b>Marte</b>	1,52	1,6
<b>Asteróides</b>	~2.0 – 3.3	2,8
<b>Júpiter</b>	5,2	5,2
<b>Saturno</b>	9,54	10,0
<b>Urano</b>	19,19	19,6
<b>Netuno</b>	30,06	38,8

*Thais Mothé-Diniz trabalha no Observatório Nacional, na área de astrofísica do Sistema Solar e é professora do Observatório Valongo, UFRJ. E-mail: [thais.mothe@on.br](mailto:thais.mothe@on.br)*

*Jaime F. Villas da Rocha é astrônomo do Museu de Astronomia e Ciências Afins (MAST/RJ). E-mail: [jaime@mast.br](mailto:jaime@mast.br)*