

# O Sistema Solar

Roberto Ortiz - EACH/USP

## *Formação e evolução*

- Há 4,6 bilhões de anos, uma nuvem de gás (basicamente hidrogênio) se contraiu e formou estrelas, entre elas o Sol.



- Uma parte residual do gás, que não foi incorporada ao Sol, permaneceu orbitando em torno dele, formando um disco de gás em rotação.



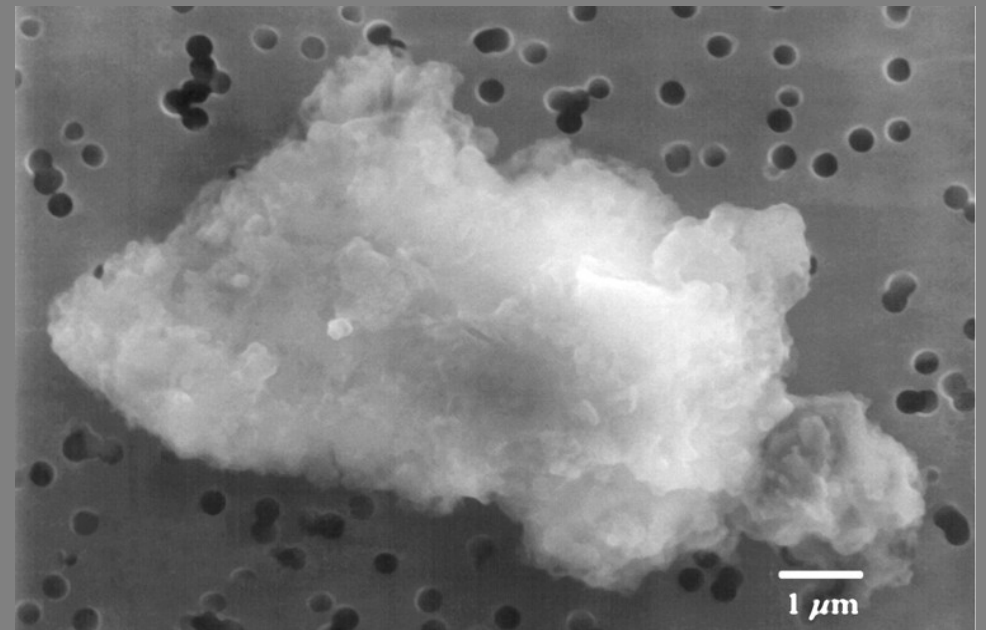
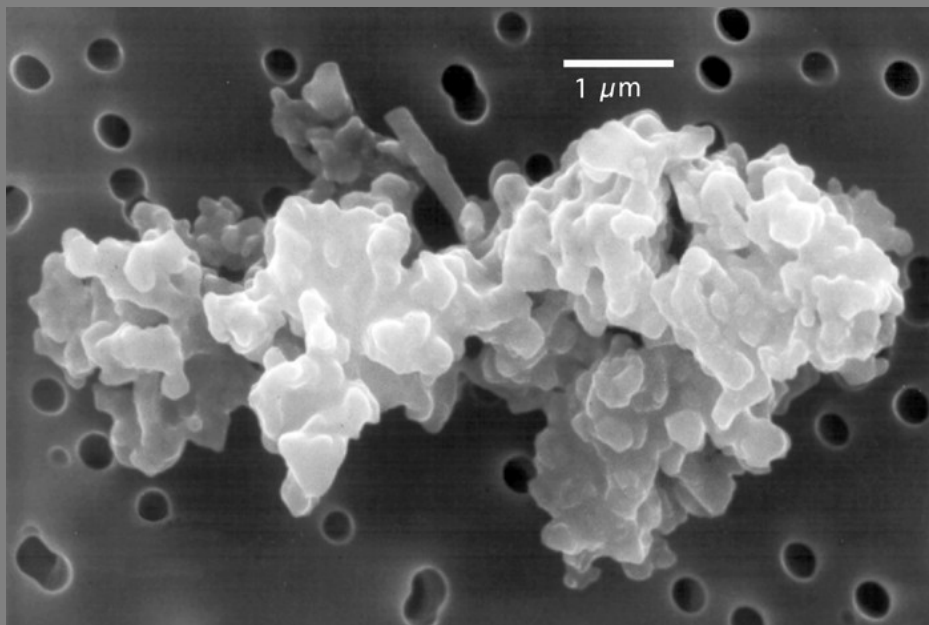
Disco Protoplanetário

- O disco protoplanetário era composto principalmente por hidrogênio e hélio. Havia também uma pequena fração de átomos mais pesados (2% em massa), principalmente oxigênio, nitrogênio e carbono, como em outras partes do Universo.
- Gradativamente, colisões entre esses átomos formaram moléculas. A força eletrostática mantinha essas moléculas ligadas.
- Colisões entre as moléculas formaram grãos, num processo chamado de *nucleação*.



# *Grãos no Sistema Solar*

*(colhidos no espaço interplanetário e examinados através de microscópio eletrônico)*



- Colisões entre os grãos formaram grãos maiores, que por sua vez formaram corpos rochosos. Esse processo é chamado de acrecção.
- Simultaneamente, a força gravitacional acelerava o processo de acreção, sobretudo dos corpos mais massivos.
- Os corpos formados nesse processo (proto-planetar) constituíam-se de gás e poeira, material semelhante aos cometas.



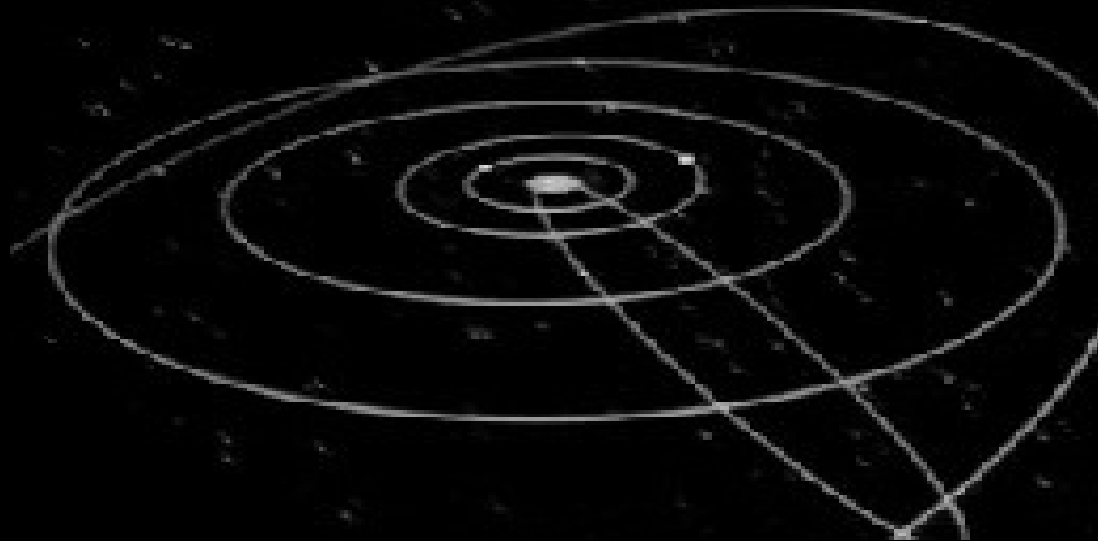


- À medida que esses corpos adquiriam mais massa por acreção de matéria, a força gravitacional eventualmente vencida o atrito interno e tornava-os esféricos.
- Os corpos menos massivos, cuja gravidade é mais fraca, não se tornariam esféricos.



# A região interna do Sistema Solar

- A região mais interna do Sistema Solar (até 4 U.A. do Sol) é quente demais para que compostos voláteis permanecessem ligados aos protoplanetas.



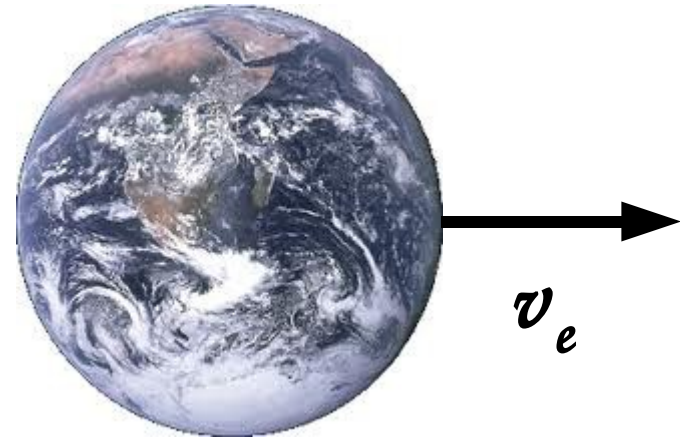


- A velocidade de escape  $v_e$  de um planeta é o valor mínimo para que um corpo, lançado a essa velocidade, escape da atração gravitacional do planeta:

$$(K + U_g)_i = (K + U_g)_f$$

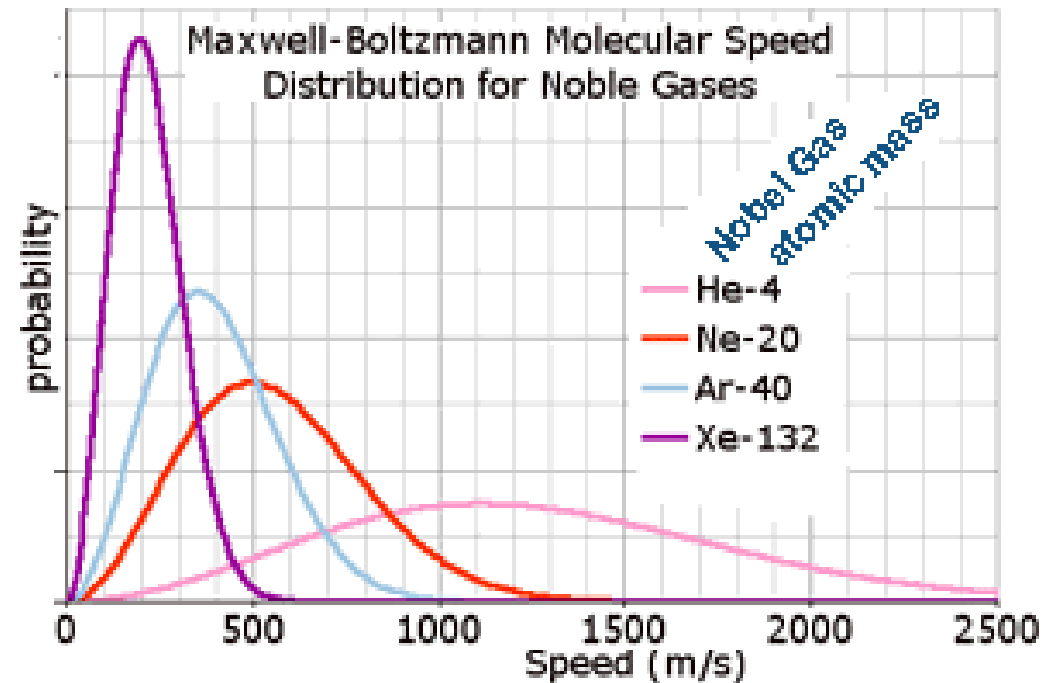
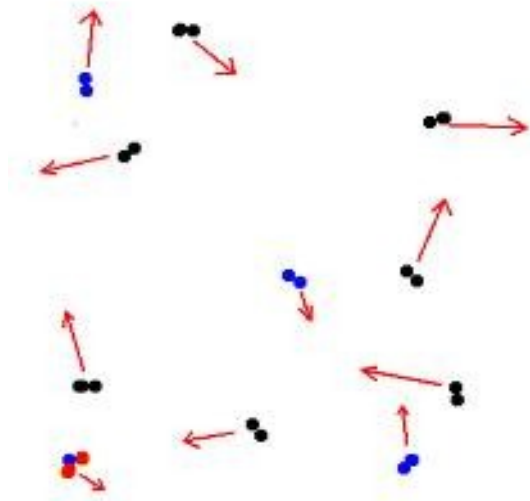
$$\frac{1}{2}mv_e^2 + \frac{-GMm}{r} = 0 + 0$$

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$



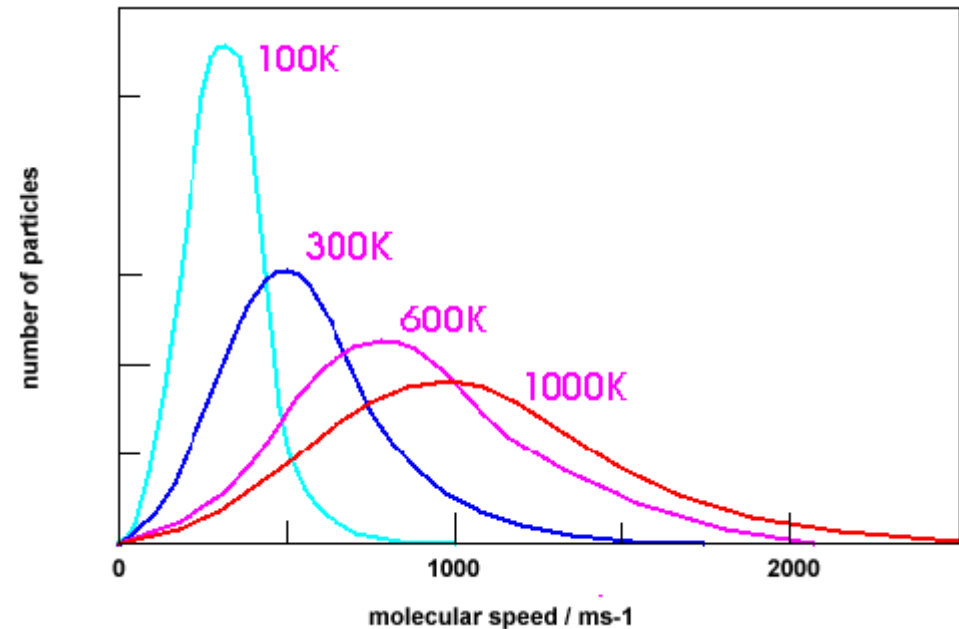
onde  $M$  é a massa e  $r$  é o raio do planeta

- O hidrogênio (atômico e/ou molecular) e o hélio escaparam dos planetas mais internos porque sua velocidade geralmente supera a velocidade de escape.
- Na região interna do Sistema Solar, o hidrogênio praticamente só existe ligado a outros átomos, por exemplo  $H_2O$ .



Acima: distribuição da velocidade de alguns átomos, a uma dada temperatura

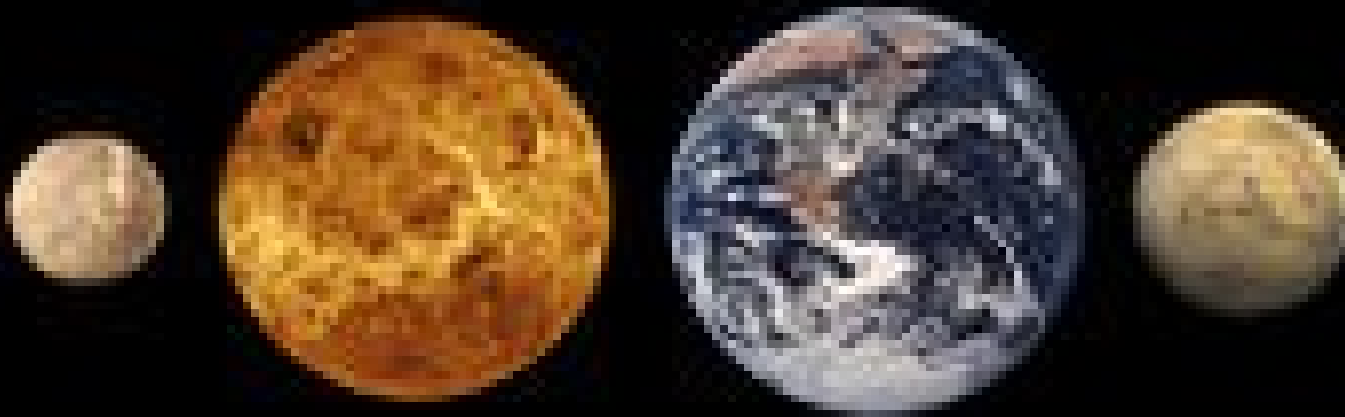
- O hélio, por ser um *gás nobre* e ao mesmo tempo um átomo *leve*, é raríssimo na região mais interna do Sistema Solar, pois sua velocidade supera a de escape dos planetas mais internos.
- O hélio existe em pequenas quantidades, criado a partir de decaimentos radioativos.
- Conseqüentemente, os planetas mais internos são formados predominantemente por átomos mais pesados principalmente metálicos, como o Fe, Ni e diversos tipos de silicatos.



Acima: distribuição de velocidades de uma dada molécula ou átomo, para diversas temperaturas.

# Os Planetas telúricos (ou rochosos)

Mercúrio, Vênus, Terra e Marte

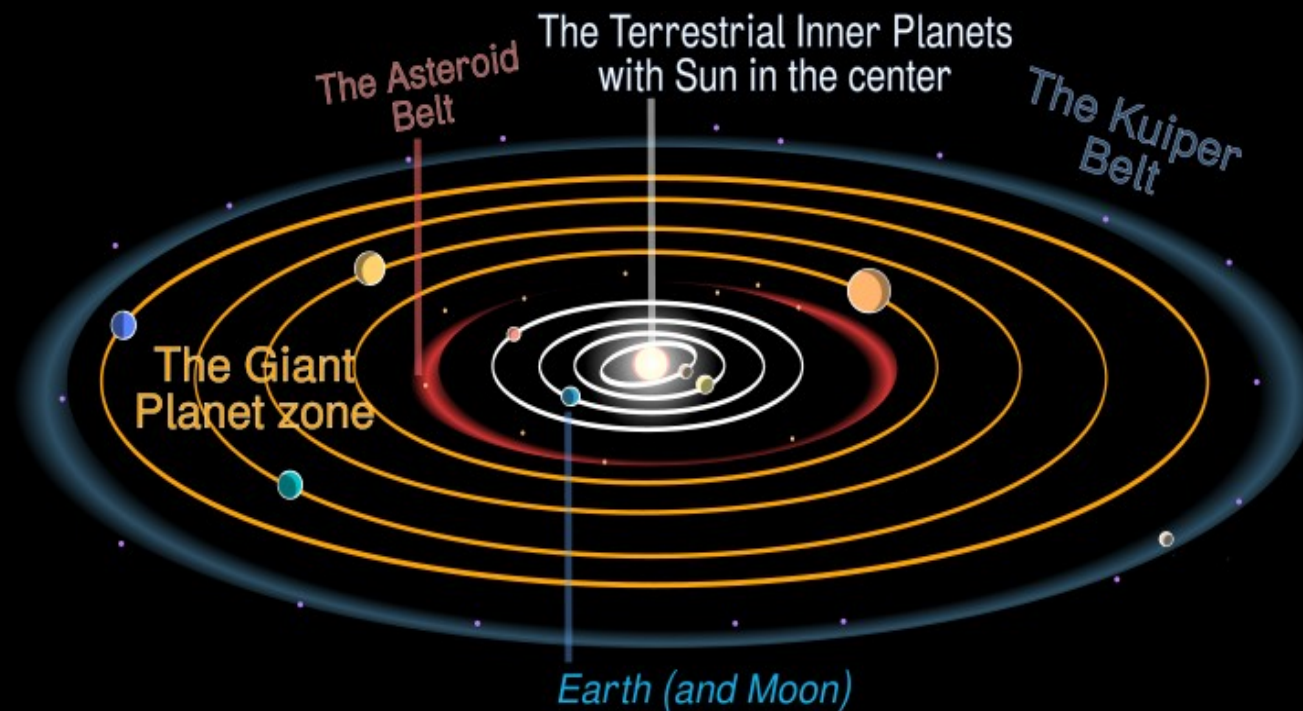


*Os planetas telúricos*

Esses planetas possuem uma superfície sólida e, com exceção de Mercúrio, são recobertos por uma atmosfera.

# A região intermediária do Sistema Solar

Além do último planeta telúrico (Marte), a uma distância entre 2,0 e 3,5 U.A. do Sol, o material protoplanetário não conseguiu se reunir para formar um planeta. Nessa região existem hoje inúmeros planetas-anões: *Ceres*, *Pallas*, *Vesta*, *Juno*, etc.



# Os planetas gasosos (ou jovianos)

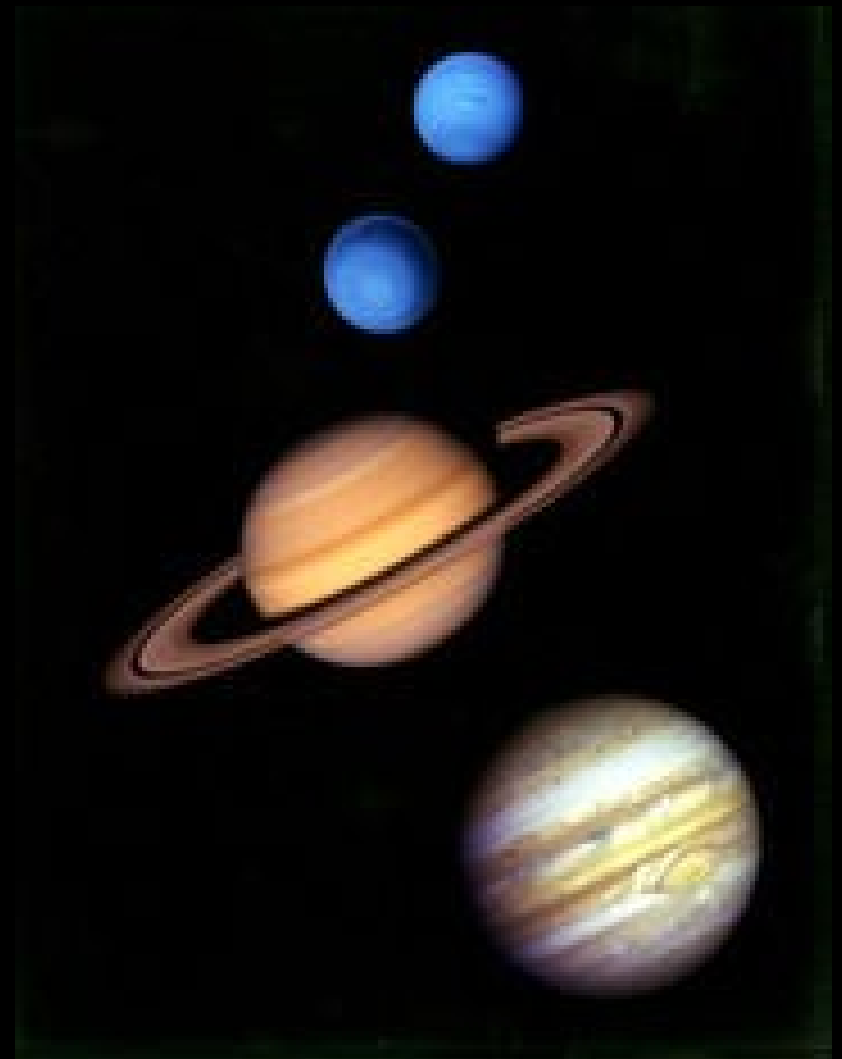
- Na região além de 4 U.A., as temperaturas são mais baixas. Gases mais leves como o Hidrogênio e o Hélio são “aprisionados” pela gravidade dos planetas.
- Conseqüentemente, esses planetas possuem, além de material metálico em seu núcleo (Fe, Ni, Al) e silicatos, uma grande quantidade de H e He.
- A acreção de gases leves fez com que a massa desses planetas fosse muito maior do que a os planetas rochosos.



Júpiter

# Portanto, devido às baixas temperaturas além de 4 U.A., temos que:

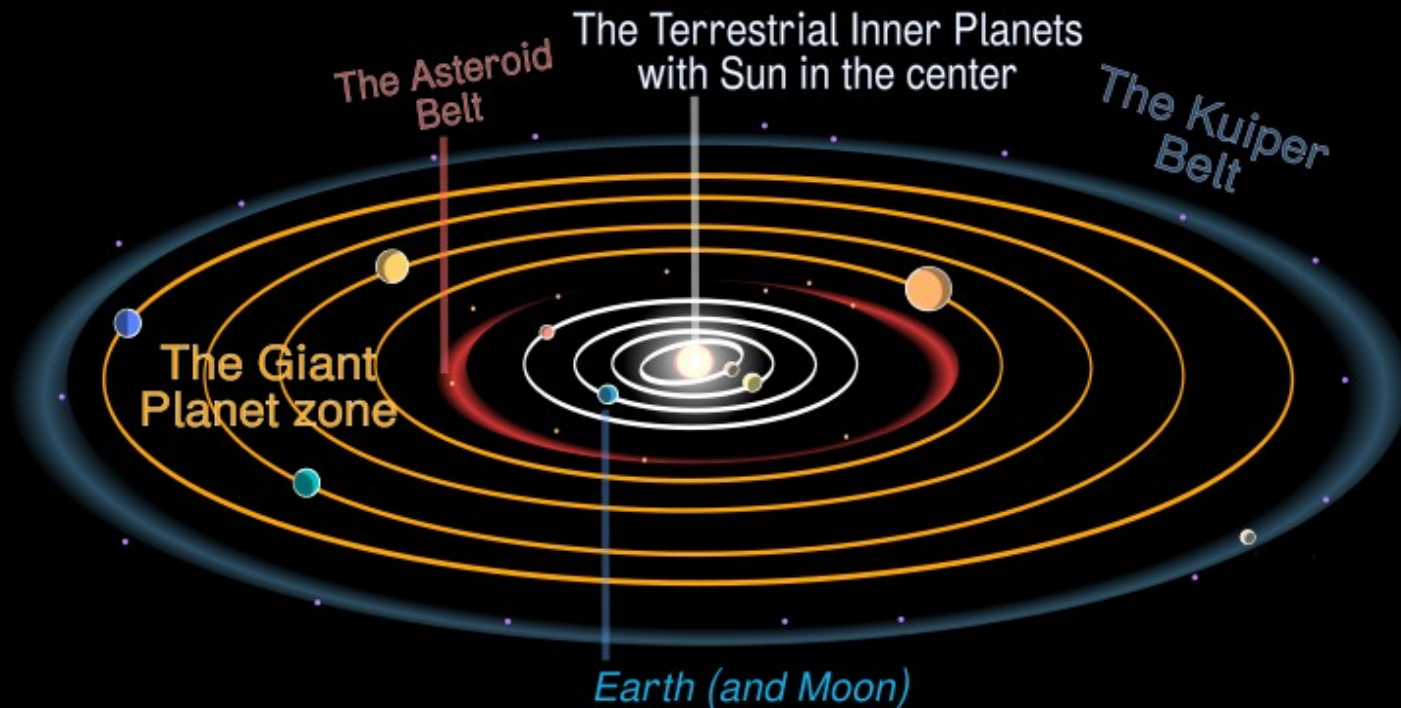
- Todos os planetas nessa região são do tipo gasoso ou joviano.
- Todos possuem anéis de gelo ao seu redor.
- Fazem parte dessa classe de planetas: Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.





# Além dos planetas gasosos

Além da órbita de Netuno também são encontrados muitos planetas-anões: Eris, Orcus, Sedna, etc. Eles habitam a região conhecida como *Cinturão de Kuiper*.



# Definição de Planeta (Reunião da IAU, Praga, 2006):

- 1-) Corpo celeste que executa revoluções em torno do Sol e que é o astro dominante em sua órbita.
- 2-) Possui forma esférica.

*Há DUAS classes de planetas  
(no Sistema Solar)*

**Planetas Telúricos** (até 4 U.A.) do Sol:

Mercúrio, Vênus, Terra e Marte

**Planetas Gasosos** (além de 4 U.A.) do Sol:

Júpiter, Saturno, Urano e Netuno



# ***Outros componentes do Sistema Solar:***

## ***Planetas-anões:***

1-) Orbitam em torno do Sol e compartilham sua órbita com outros corpos

2-) Possuem forma esférica

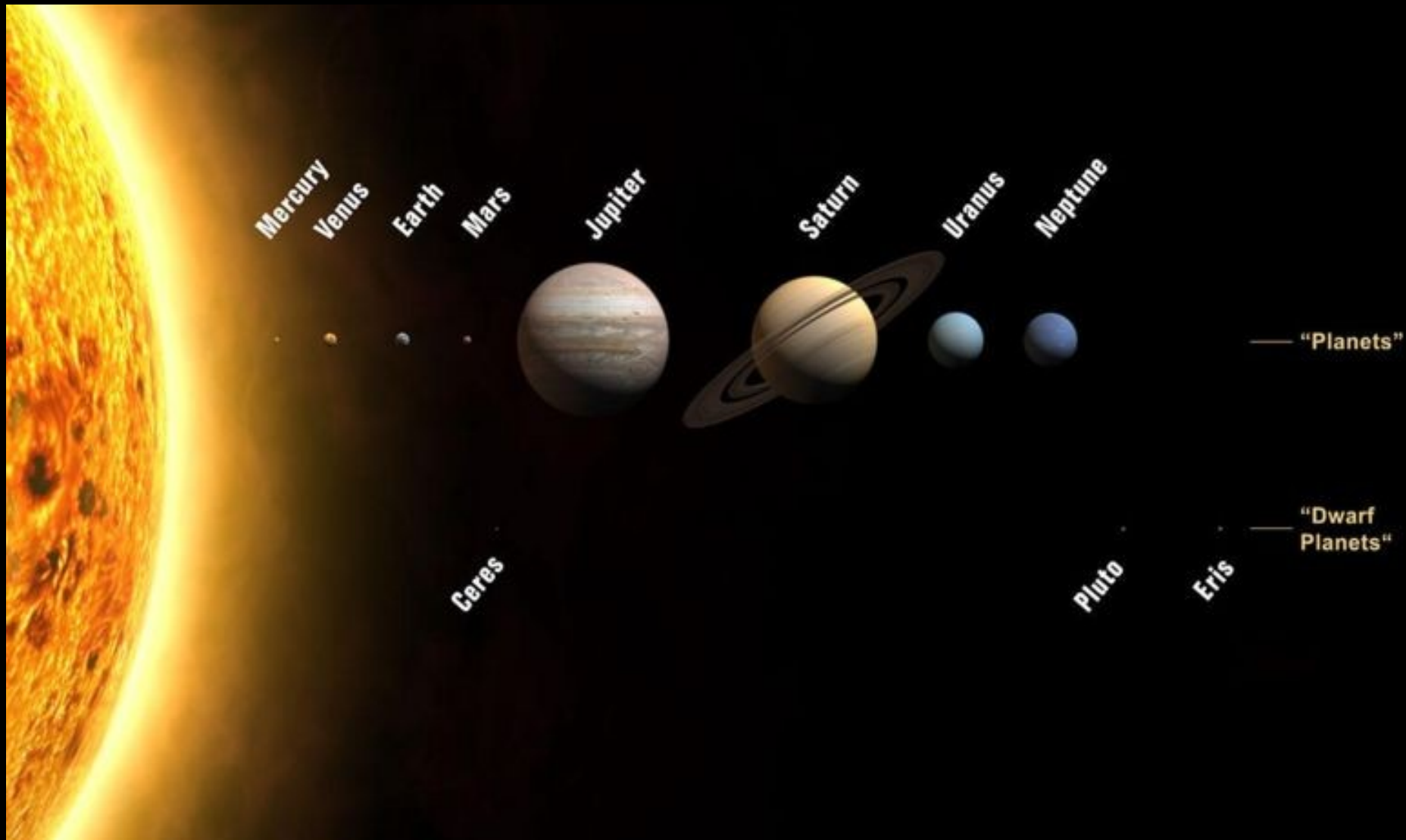
Exemplos: Ceres, Vesta, Pallas, Plutão, Eris, etc.

## ***Corpos menores do Sistema Solar:***

1-) Dividem sua órbita com outros corpos

2-) Não são esféricos

Exemplos: cometas, demais corpos não-esféricos



Planetas em escala  
Distâncias fora de escala

