

# MMNS, migração e formação planetária

**Luiz Henrique Guimarães dos Santos**

**WORKSHOP - DAS**

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
São José dos campos - SP  
[henrique.guima@das.inpe.br](mailto:henrique.guima@das.inpe.br)

8 de abril 2014

# Receita para construirmos um Sistema planetário (exemplo: Solar)

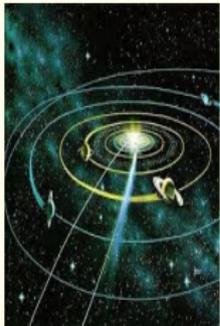


## Ingredientes para 8 planetas:

- $\approx 60$  massas terrestres de sólidos (condritos).
- $\approx 0,01 M_{\odot}$  da famosa mistura H (75%) e He (25%).

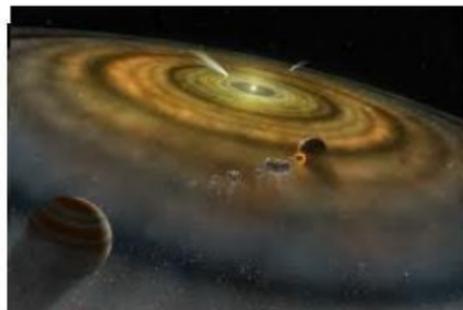
## Preparo

- Espalhe a massa apropriada de sólidos em torno da órbita de cada planeta.
- Multiplique a densidade obtida por 100 (adicione gás).
- Defina um perfil radial de densidade superficial para o disco (lei de potência).
- Deixe orbitar em torno do Sol por 10 milhões de anos.
- Ao fim teremos o Sistema Solar. (Bom apetite!)



## Massa mínima da nebulosa solar

- **Nebulosa:** Não se trata de uma nebulosa planetária mas sim de um disco protoplanetário!

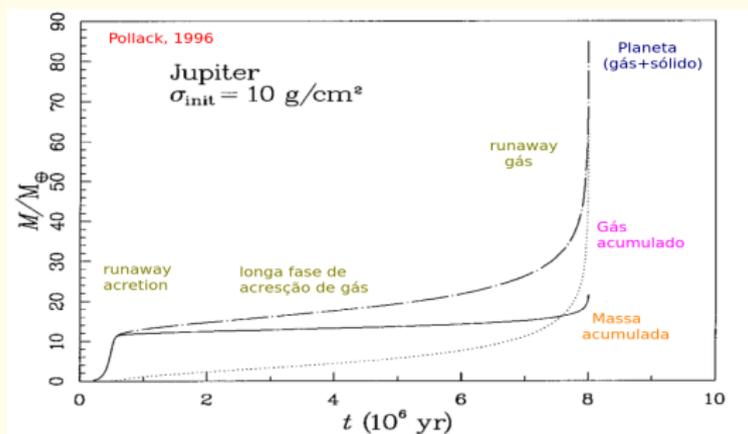


- **Solar:** A partir deste disco é construído o Sistema Solar.
- **Massa mínima:** Massa sólida suficiente para construir os 8 planetas.
- **perfil:**

Weidenschilling (1977), Hayashi (1981) :

$$\Sigma(r) = 1700 \left( \frac{r}{1\text{AU}} \right)^{-1.5} \text{ g.cm}^{-2}$$

## Modelo de acreção ao núcleo



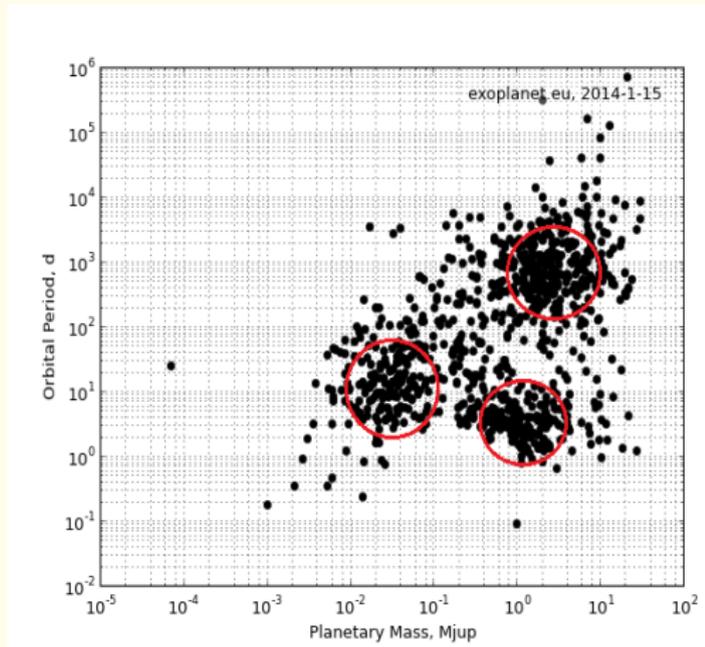
- 1 *runaway accretion*, acreção descontrolada de planetesimais. Ocorre além da linha do gelo.
- 2 longa fase de acreção, essencialmente de gás. (crescimento do envelope em equilíbrio quase-estático)
- 3 crescimento acelerado (*runaway*), massa do envelope  $\approx$  massa do núcleo

## Considerações sobre o modelo de acreção ao núcleo

- Este modelo está no contexto do MMNS.
- O modelo é unificador (serve para planetas rochosos e gasosos)
- O planeta acreta todo sólido presente no disco.
- O planeta é formado no local atual (*in situ*). Planetas gigantes além da linha de gelo.
- o tempo de formação de planetas gigantes é muito extenso. Comparável á vida do disco.

# Distribuição dos Exoplanetas

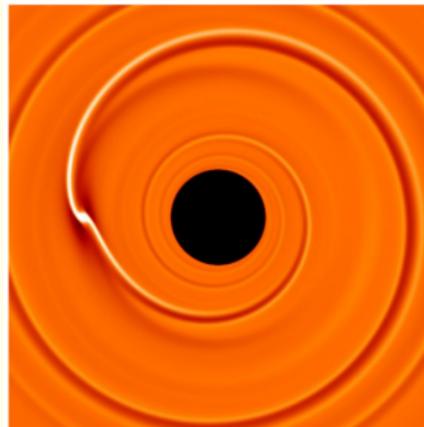
- Menor que Júpiter e período curto (Super Terra, super netuno e telúrico)
- Grande massa e período longo (Gigante Gasoso)
- Grande massa e período curto (Júpiter Quente)



## Migração planetária

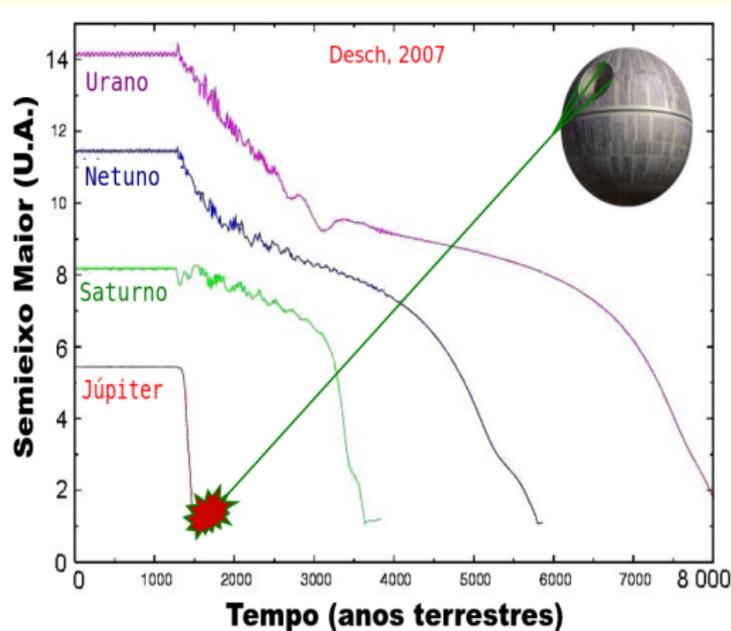
O raio orbital pode mudar por três processos diferentes:

- 1 Planetesimais ( $> \text{km}$ ): Força radial através do arraste do gás.
- 2 Planetas em um disco gasoso: migração do tipo I, II e III através de interação de maré.
  - **Tipo I:** Para planetas de baixa massa.
  - **Tipo II:** Para planetas mais massivos, que cria uma zona vazia, ou lacuna, no disco
  - **Tipo III:** Planetas com massa intermediária. Caminho estocástico.
- 3 Planetas após o fim do disco: Mudança descontínua através de espalhamento (Modelo de Nice).



## comportamento das migrações

- Júpiter, tipo III.
- Saturno, Migração do tipo I e depois tipo III.
- Netuno, tipo I.
- Urano tipo I.

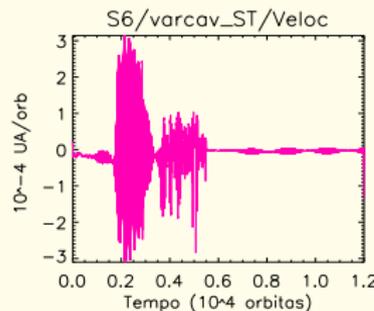
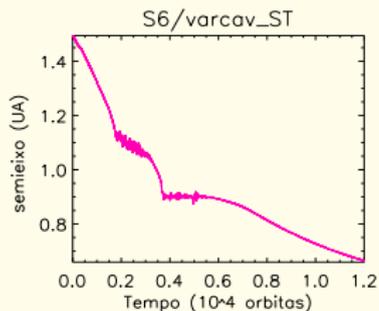
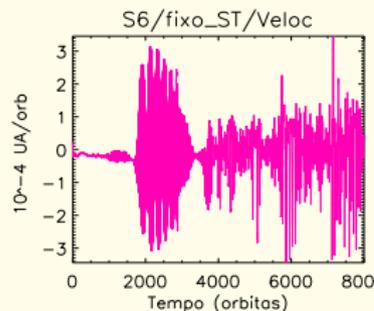
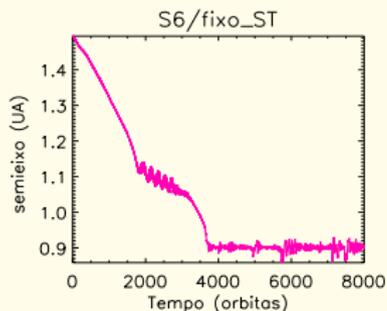


Como salvar os planetas?

## Salvando o planeta

Vários mecanismos são propostos para armadilhar ou inverter a deriva radial dos planetas. entre elas posemos citar:

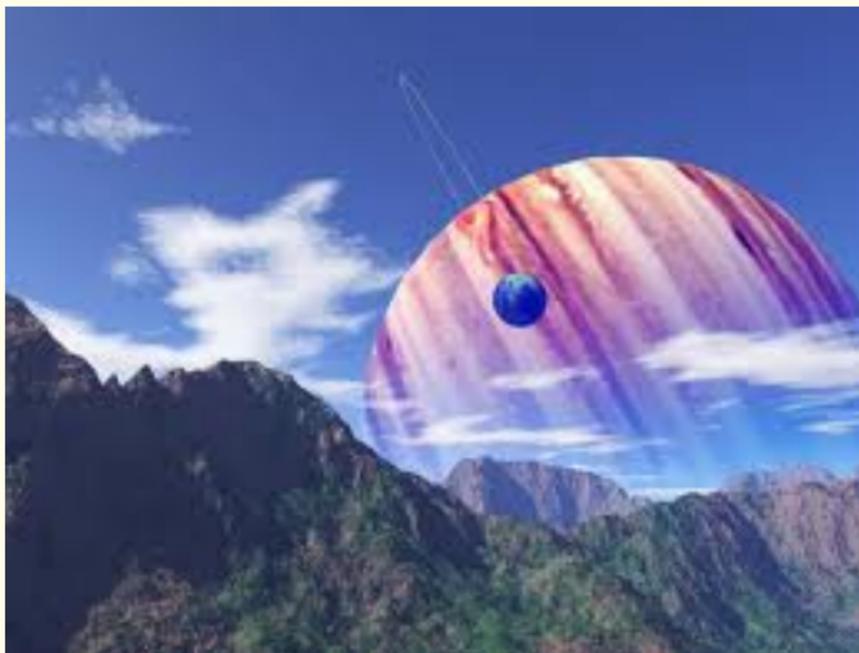
- Mudança abrupta no perfil radial de densidade superficial.
- Mudança no perfil de temperatura.
- turbulência localida.
- Ressonâncias
- etc.



## Conclusão

- O padrão MMSN não é consistente com a migração planetária
- No modelo de acreção ao núcleo o planeta gigante passaria um período muito longo para se formar, equivalente ao tempo de vida do disco e não explicaria a formação de Júpiteres quentes.
- Migrações planetárias são muito rápidas, sendo necessário algum mecanismo de frenagem para poder considerá-las
- O ideal seria um meio termo entre migração, com uma descrição física do disco mais precisa conjuntamente com outro modelo, por exemplo o de Nice.
- 

A migração faz torna “receita” MMNS Irrelevante.



**Fim**