



## Estrela PDS110:

- Idade:  $\sim 11$  milhões de anos
- Massa:  $1.6 M_{\text{Jup}}$
- Raio:  $2.23 R_{\text{Jup}}$

Dois eclipse com características semelhantes foram observados nos anos de 2008 e 2011.

- Duração do evento:  $\sim 25$  dias
- Queda na luminosidade:  $\sim 30\%$ .

Osborn & Rodriguez (2017) propuseram duas diferentes interpretações para os eventos observados:

- A passagem de um disco circunestelar ao redor da própria estrela PDS110.
- A passagem de um disco inclinado ao redor de um corpo secundário não observado.

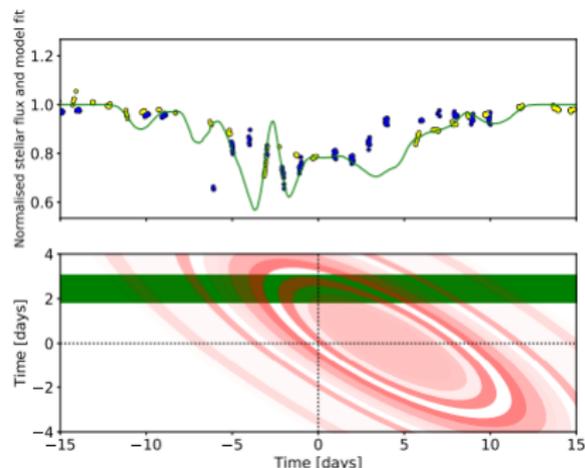


Figure: No primeiro painel contém a curva de luz observada nos anos de 2008 (amarelo) e 2011 (azul). No segundo painel apresenta uma esquematização do sistema de anéis entorno de um corpo secundário e a área em verde representa a passagem da estrela durante os elipses (Fonte: Osborn & Rodriguez, 2017)).

- O intervalo de entre os eclipses sugere um período orbital para esse corpo secundário de 2 anos.
- Osborn & Rodriguez (2017) propôs um intervalo de massa do corpo secundário:  $1.8 - 70 M_{Jup}$ .

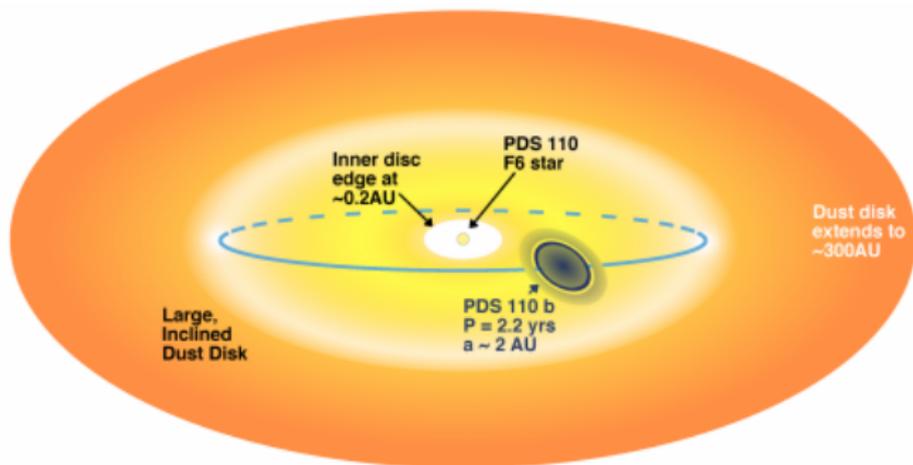


Figure: Esquematização do sistema estelar PDS110 (Fonte: Osborn & Rodriguez, 2017)).

Investigar a estrutura e estabilidade de um possível sistema de anéis ao redor de um planeta gigante gasoso (PDS110b), junto com suas características físicas e orbitais. Por meio das simulações numéricas, foi possível restringir intervalos para os parâmetros físicos e orbitais desconhecidos do sistema PDS110b. Esses parâmetros são:

- Massa do planeta:  $[1.8 - 70] M_{Jup}$
- Excentricidade do planeta
- Extensão do anel
- inclinação do anel

- O fator  $\xi$  definido pela razão entre o raio de Hill e a extensão raial do anel, permite fazer uma restrição na excentricidade limite do planeta de 0.5. Foi assumido:
- O ângulo de visada do anel observado da Terra é  $0^\circ$  (face-on).
- Durante o eclipse o planeta possui velocidade constante.

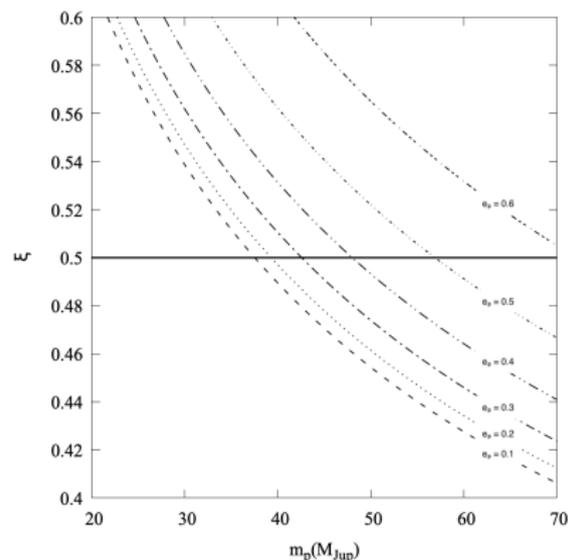


Figure: Curvas do fator  $\xi$  em função da massa e da excentricidade do exoplaneta PDS110b.

- Simulamos numericamente diversos problemas de três corpos (estrela, planeta e partícula), cada um representando uma diferente condição inicial.

## Estrela

- massa:  $1.6 M_{\odot}$
- raio:  $2.23 R_{\odot}$

## Planeta

- massa: 1.8 to  $70 M_{\text{JUP}}$
- raio: calculado assumindo a mesma densidade de Júpiter
- semieixo maior: 2 au
- excentricidade: 0 - 0.5

## Partícula

- semieixo maior: 0.01 - 0.5 au
- excentricidade: 0
- anomalia verdadeira:  $0^{\circ}$  -  $360^{\circ}$
- inclinação:  $0^{\circ}$  -  $180^{\circ}$

- No total foram simuladas  $1.3 \times 10^6$  diferentes condições iniciais.
- REBOUND + integrador IAS15
  - 6.3% das partículas colidiram
  - 72.2% das partículas escaparam
  - 21.5% das partículas permaneceram estáveis

- Para a análise dos resultados das simulações numéricas, dividimos em 1820 diferentes conjuntos de simulações, conforme os seguintes critérios:

$$\Delta i = 15^\circ$$

$$\Delta e_p = 0.05$$

$$\Delta m_p \sim 5M_{Jup}$$

- Cada barra vertical nas figuras representa a duração possível dos eclipses para um determinado intervalo de inclinação do anel, massa do planeta e excentricidade.

## Raio do anel $\times$ Inclinação do anel

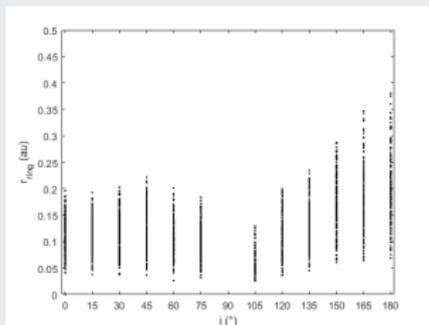


Figure: Raio do anel de cada grupo de simulação em função da inclinação das partículas.

## Inclinação $\times$ Tempo do Eclipse

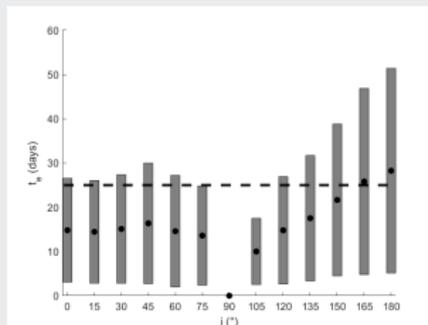


Figure: Possíveis intervalos de duração do eclipse para diferentes inclinações do anel.

- As duas figuras a direita mostram possíveis intervalos de duração do eclipse, para diferentes massas e excentricidades do planeta com um sistema de anel pródgrado.

## Raio do anel $\times$ Tempo do eclipse

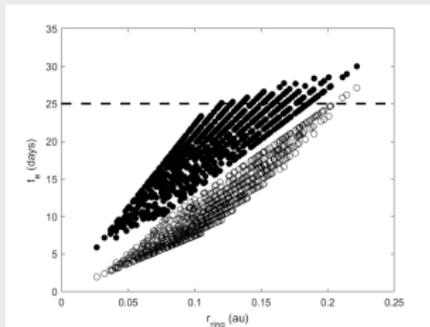
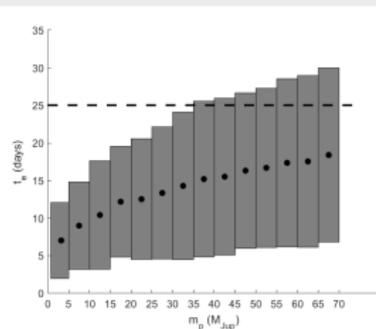
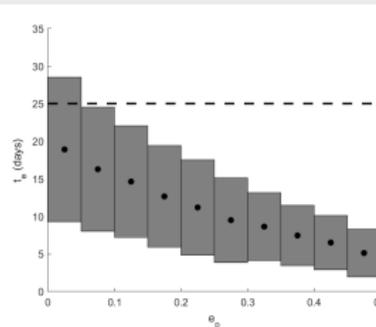


Figure: Tempo do eclipse em função do tamanho do anel, no caso de uma eclipse no pericentro (círculo aberto) e apocentro (círculo fechado).

## Massa $\times$ Tempo do eclipse



## Excentricidade $\times$ Tempo do eclipse



# Sistema de anéis retrógrados

- As duas figuras a direita mostram possíveis intervalos de duração do eclipse, para diferentes massas e excentricidades do planeta com um sistema de anel retrógrado.

## Raio do anel $\times$ Tempo do eclipse

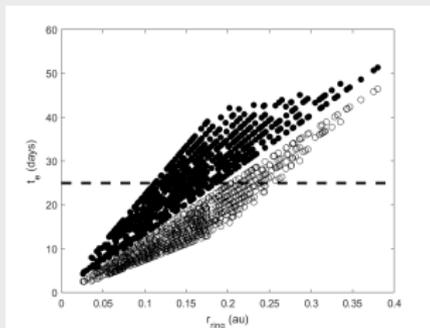
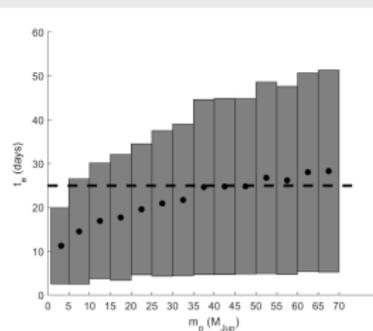
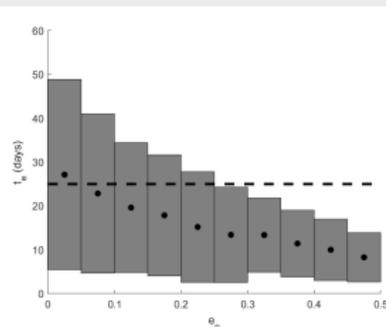


Figure: Tempo do eclipse em função do tamanho do anel, no caso de uma eclipse no pericentro (círculo aberto) e apocentro (círculo fechado).

## Massa $\times$ Tempo do eclipse



## Excentricidade $\times$ Tempo do eclipse



- No total foi explorado  $1.310^6$  diferentes configurações iniciais para esse sistema.
- O eclipse pode ser explicado tanto por um anel prógrado como retrógrado.
- Anéis retrógrados apesar de serem mais estáveis, é difícil explicar a origem de um anel com tamanha extensão e com movimento retrógrado.
- No caso de um anel prógrado, nosso resultado mais provável:
- O planeta tem a massa maior que  $35 M_{Jup}$  e  $e_p \leq 0.05$
- A inclinação do anel em relação a plano orbital do planeta provavelmente é menor que  $60^\circ$
- A extensão do anel:  $[0.1 - 0.2]au$